9.50
Iegūts apmaiņā pret
Acta Horti Botanici.
Nachlaß von Prof. N. Malta
569.

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA — FINSKA FORSTSAMFUNDET

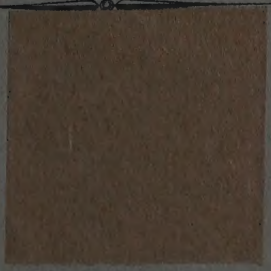
ACTA FORESTALIA FENNICA

31.

ARBEITEN DER
FORSTWISSENSCHAFTLICHEN GESELLSCHAFT
IN SUOMI-FINNLAND

PUBLICATIONS OF THE
SOCIETY OF FORESTRY
IN SUOMI-FINLAND

PUBLICATIONS DE LA
SOCIÉTÉ FORESTIÈRE
DE LA SUOMI-FINLANDE



HELSINKI 1927.

Nachlaß von Prof. N. Malta
569.

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA — FINSKA FORSTSAMFUNDET

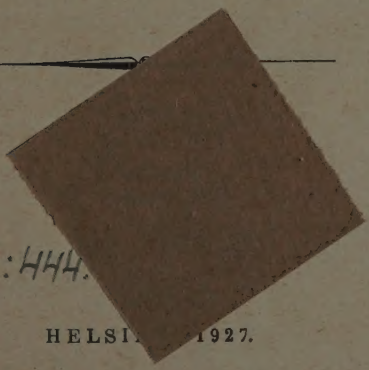
ACTA FORESTALIA FENNICA

31.

ARBEITEN DER
FORSTWISSENSCHAFTLICHEN GESELLSCHAFT
IN SUOMI-FINNLAND

PUBLICATIONS OF THE
SOCIETY OF FORESTRY
IN SUOMI-FINLAND

PUBLICATIONS DE LA
SOCIÉTÉ FORESTIÈRE
DE LA SUOMI-FINLANDE



Inv. 1934:444.

HELSI[illegible] 1927.

Acta forestalia fennica 31.

1. **Ilvessalo, Lauri,** Metsätieteellinen tutkimustoiminta Suomessa ..... 1—71
2. **Ilvessalo, Lauri,** Forest Research Work in Finland ..... 1—92
3. **Lassila, I,** Piirteitä sahan ja saharaamin alkukehityksestä ..... 1—57
   Summary (Features in the early development of saws and saw frames) 58—62
4. **Lassila I,** Puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimuksesta, sen tuloksista ja tehtävistä ..... 1—177
   Summary (The mechanico-technical properties of wood; their study and its objects) ..... 178—186
5. **Lönnroth, Erik,** Über Stammkubierungsformeln ..... 1—56
6. **Lindeberg, J. W.,** Zur Theorie der Linientaxierung ..... 1—9

METSÄTIETEELLINEN TUTKIMUS-TOIMINTA SUOMESSA

METSÄTIETEELLISEN TUTKIMUSTOIMINNAN
SYNTY JA KEHITYS SEKÄ YLEISKATSAUS
TOIMITETTUIHIN TUTKIMUKSIIN

KIRJOITTANUT
LAURI ILVESSALO

HELSINKI 1926

HELSINKI 1926
SUOMAL. KIRJALL. SEURAN KIRJAPAINON OY.

Alkulause.

Suomen metsätieteellisen tutkimustoiminnan tulokset ovat julkaistut pääasiassa suomeksi (saksankielisin selostuksin) tai saksaksi, mikä on vaikeuttanut laajan englanninkielisen maailman tutustumista niihin. Tämän vuoksi on näyttäytynyt tarpeelliseksi laatia lyhykäinen englanninkielinen katsaus Suomen metsätieteellisen tutkimustoiminnan syntyyn ja kehitykseen sekä tähän asti toimitettuihin tutkimuksiin. Tekijälle usealta taholta lausuttujen toivomusten johdosta julkaistaan katsaus seuraavassa samanaikaisesti suomeksi. Kuten englanninkielisenkin painoksen alkulauseessa huomautetaan ei tällaisessa pääpiirteisessä katsauksessa ole voitu mainittavassa määrässä huomioonottaa aivan vähäisiä, esim. aikakauskirja-artikkeleina ilmestyneitä tutkielmia; niinikään ovat sellaiset vanhemmat tutkimukset, etenkin pienemmät, joilla nykyään on enää vain historiallinen merkitys, jos aina sitäkään, yleensä jätetyt mainitsematta.

Helsingissä toukokuulla 1926.

Tekijä.

Sisältö.

Sivu

Suomen metsätieteellisen tutkimustoiminnan synty ja kehitys 7
Alkuvaiheet 7
Korkeamman metsäopetuksen siirtäminen Helsingin yliopistoon sekä Suomen Metsätieteellisen Seuran perustaminen ja toiminta 11
Metsätieteellisen Koelaitoksen perustaminen ja toiminta 17
Työnjako Metsätieteellisen Seuran ja Metsätieteellisen Koelaitoksen välillä ... 21
Muu metsätieteellinen tutkimus- ja julkaisutoiminta 22
Katsaus tähän asti toimitettuihin tutkimuksiin 24
1. Biologis-metsänhoidolliset tutkimukset 24
Metsätyypit ja niihin kohdistuvat tutkimukset 25
Metsämaaperään kohdistuvat tutkimukset 27
Kotimaisten metsäpuiden biologiaa selvittelevät tutkimukset 28
Juuristotutkimukset 30
Perinnöllisyystutkimukset 31
Ulkomaalaisten puulajien viljeleminen 32
Metsänhoitomenetelmiin kohdistuvat tutkimukset 33
Metsävahinkoja selvittelevät tutkimukset 35
Laiduntamistutkimukset 37
Suojametsäkysymys 37
Suotutkimukset 38
2. Metsätaksatooriset ja metsäpoliittiset tutkimukset 41
Matemaattis-tilastollisten menetelmien soveltaminen metsätieteeseen 41
Puiden muotoa koskevat tutkimukset 44
Metsikköjen kasvua, kehitystä ja rakennetta koskevat tutkimukset 44
Metsävarat ja metsätalouden yleiset edellytykset 46
Metsien kulutus sekä kasvun ja kulutuksen välinen suhde 48
Eri omistajaryhmien metsätaloutta koskevat tutkimukset 50
Puunjalostusteollisuutta ja puunjalostusyhtiöitä koskevat tutkimukset ... 51
Metsäntuotteiden vientiä sekä vientitulleja käsittelevät tutkimukset 53
Puun hintojen kehittymistä selvittelevät tutkimukset 54
Metsälainsäädäntöä koskevat tutkimukset 55

Sivu

Viljavan maa-alan jakaantumista koskevat tutkimukset 55
Asutusoloja ja asutuspolitiikkaa selvittelevät tutkimukset 56
Valtion maanluovutuspolitiikkaan kohdistuvat tutkimukset 57
3. Metsäteknologiset tutkimukset 58
Henkilöluettelo 60
Liitteitä:
1. *Acta Forestalia Fennica* 1—30 (1909—1926), sisältöluettelo 63
2. *Metsätieteellisen Koelaitoksen Julkaisuja* 1—10 (1919—1926), sisältöluettelo 69
3. Suomen Metsänhoitoyhdistyksen julkaisusarja *Erikoistutkimuksia* 1—12 (1914—1923), sisältöluettelo 71

Lyhennyksiä.

A.Bot.F. = Acta Botanica Fennica
A.F.F. = Acta Forestalia Fennica
A.S.F.F.F. = Acta Societatis pro Fauna et Flora Fennica
Erikoistutk. = Suomen Metsänhoitoyhdistyksen julkaisusarja Erikoistutkimuksia
Specialund. = » » » Specialundersökningar
S.My.J. = Suomen Metsänhoitoyhdistyksen Julkaisuja
F.F.M. = Finska Forstföreningens Meddelanden
Mets.Aik. = Metsätaloudellinen Aikakauskirja
M.K.J. = Metsätieteellisen Koelaitoksen Julkaisuja

Suomen metsätieteellisen tutkimustoiminnan synty ja kehitys.

Alkuvaiheet.

Niin nuori kuin *määrätietoinen* metsätieteellinen tutkimustoiminta Suomessa vielä onkin oivallettiin metsiin ja metsätalouteen kohdistuvien kysymysten tieteellisen selvittelyn tärkeys jo sangen varhain. Ensimmäiset, joskin tosin sangen vaatimattomat yritykset metsätieteellisen tutkimustoiminnan alalla tehtiin jo 18. vuosisadalla, n.s. taloudellisella eli hyödyn aikakaudella, jonka tunnuspiirteenä oli elinkeinojen kohottaminen ja maan taloudellisen tilan parantaminen. Varsinkin Turun yliopiston professorit P. Kalm (taloustieteen professori v:sta 1747) ja P. A. Gadd (kemian ja taloustieteen ylimääräinen professori v:sta 1758, sittemmin vakinainen kemian professori ja »plantaasitirehtööri») sekä heidän lukuisat oppilaansa julkaisivat useita tutkimuksia koti- ja ulkomaisista puulajeista sekä metsänhoidon ja metsänkäytön alalta. Niinikään Kalm ja Gadd toimeenpanivat Turussa ja sen läheisyydessä viljelyskokeita ulkomaalaisilla puulajeilla, varsinkin amerikkalaisilla puulajeilla, joiden siemeniä Kalm tutkimusmatkaltaan Pohjois-Amerikkaan (vv. 1747—1751) toi suuren joukon kotimaahan. Näillä tutkimuksilla ja viljelyskokeilla ei kuitenkaan — nykyajan mittapuulla mitaten — ollut mainittavaa tieteellistä yhtä vähän kuin käytännöllistäkään merkitystä, niin mielenkiintoisia kuin ne ovatkin kulttuurihistorialliselta kannalta. Kalmin ja Gaddin herättämä harrastus taloudellisiin tutkimuksiin laimeni nopeasti heidän seuraajainsa aikana ja heidän alkuunpanemansa koeviljelykset, joita poikkeuksellisen ankarat talvetkin olivat pahasti pidelleet, joutuivat rappiolle.

Vasta viime vuosisadan puolivälissä metsälain uudistuksen sekä valtionmetsäin hallinnon perustavan järjestelyn ja korkeamman metsä-

opetuksen suunnittelun yhteydessä kiintyi huomio uudelleen myös metsätaloudellisiin tutkimuksiin ja kokeisiin. Niinpä metsänhoitolaitoksen ensimmäisessä ohjesäännössä vuodelta 1859 edellytettiin kuhunkin lääniin perustettavaksi »mallipuisto», jossa piti »taloushoinnon kanssa yhtenä toimitettaman ulkomaan puulajien kodistuttamista maahamme sekä metsän raaka-aineiden kemiallista ja taiteellista pitelemistä ja kaluksi tekemistä». Samoin Evon metsäopiston v. 1860 vahvistetussa ensimmäisessä ohjesäännössä määrättiin yhdeksi tämän Suomen ensimmäisen metsäoppilaitoksen tehtäväksi toimeenpanna opistolle harjoitusalueeksi luovutetussa hoitoalueessa viljelyskokeita koti- ja ulkomaalaisilla puulajeilla.

Mallipuistojen perustaminen jäi käytännössä toteuttamatta, mutta Evon harjoitusalueessa sen sijaan ryhdyttiin kokeita toimeenpanemaan. Heti metsäopiston ensimmäisinä toimintavuosina tehtiin vertailevia kokeita erilaisilla metsän kylvö- ja istutustavoilla ja muutamaa vuotta myöhemmin ryhdyttiin kokeilemaan metsän perustamista kaskiviljelystä apuna käyttäen. Viimemainittu menettelytapa tuli sittemmin sekä Evolla että muuallakin Suomessa verraten paljon käytäntöön. Myöskin ohjesäännön edellyttämät kokeilut ulkomaalaisilla puulajeilla aloitettiin jo 1860-luvulla. Ensimmäiseksi otettiin kokeiltavaksi Europan ja Siperian lehtikuusi (*Larix europaea, L. sibirica*), joista jo ennestäänkin Suomessa oli jonkinverran kokemusta [1], mutta sitä mukaa kuin ulkomailta saatiin muidenkin puulajien siemeniä ruvettiin kokeilemaan useammillakin puulajeilla: 1870-luvulla *Pinus cembra* **sibirica*lla ja *Abies sibirica*lla, 1880-luvulla *Abies balsamea*lla ja *A. pectinata*lla, *Pinus strobuks*ella sekä tammella (*Quercus pedunculata*), jota ei Evolla luonnostaan kasvanut, 1890-luvulla *Pinus montana*lla sekä *Picea alba*lla ynnä muutamilla muilla pohjoisamerikkalaisilla puulajeilla, eräillä japanilaisilla puulajeilla j.n.e. Jo 1860- ja 1870-luvuilla toimitettiin myös karsimisia ja harvennushakkauksia sekä erilaatuisia uudistushakkauksia ja myöhempinä aikoina suonkuivauksia.

[1] Jo vv. 1738—1921 oli Venäjän hallituksen toimesta perustettu laajalti tunnettu Raivolan lehtikuusimetsä ja 1840-luvulla oli yksityisten asianharrastajain toimesta perustettu kaksi lehtikuusimetsää.

Näiden kokeilujen tuloksia valitettavasti ei kuitenkaan juuri laisinkaan julkaistu ellei lukuunoteta joitakuita enemmän tai vähemmän tilapäisluontoisia tiedonantoja, jotka ovat saatetut julkisuuteen Suomen Metsänhoitoyhdistyksen Julkaisuissa. Vasta sen jälkeen kuin Evon metsäopisto v. 1908 lakkautettiin on eräissä tutkimuksissa tehty selkoa kaskiviljelyskokeiden sekä ulkomaalaisilla puulajeilla toimitettujen viljelyskokeiden tuloksista.

Vv. 1866—1874 Evon metsäopisto oli oppilaspuutteen takia suljettuna ja kun opisto tämän 8-vuotisen seisahduksen jälkeen avattiin supistettiin samalla opetusta huomattavasti: »korkeammat tieteelliset oppiaineet» määrättiin poistettavaksi ja opetuksen tuli vast'edes olla pääasiassa käytännöllistä. Osaksi tämä opetuksen tieteellisen tason pakollinen alentaminen, osaksi lisäksi muutkin seikat, kuten ennen kaikkea opiston peräti syrjäinen asema, vaikuttivat, ett'ei Evon metsäopistosta milloinkaan tullut metsätieteellisen tutkimustyön keskusta. Opiston monivuotisen johtajan tri A. G. Blomqvistin kynästä kyllä lähti muutamia ansiokkaita tutkimuksia, joista mainittavimmat ovat tasaikäisten mänty-, kuusi- ja koivumetsikköjen kehitystä osoittavat, verraten omaperäiset tuottotaulukot *Tabeller framställande utvecklingen af jemnåriga och slutna skogsbestånd af tall, gran och björk* (Helsingfors 1872. 22 sivua + 7 taulukkoa ja 2 diagr.)[1], mänty- ja kuusitukkipuiden paksuuskasvua eri osissa Suomea selvittelevä tutkimus *Undersökningar af tjocklekstillväxten hos timmerträd af tall och gran i olika delar af Finland* (Helsingfors 1897. VIII + 170 s. + 5 s. diagr.) sekä kaksi Suomen pääpuulajeja kuvailevaa ansiokasta monografiaa *Finlands trädslag i forstligt hänseende beskrifna: I. Tallen, II. Granen* (F. F. M. 3, 1881 ja 1883. 196 ja 182 s. + 2 kuvataulua.) ja metsäpoliittinen tutkielma *Skogshushållningens nationalekonomi och synpunkter i forstpoliti*[2] (Helsingfors 1893. 230 s.). Nämä julkaisut olivat kuitenkin enemmän tai vähemmän tilapäisluontoisia, kuten myös ne pienemmät tutkimukset, joita opiston opettajat

[1] Myöhemmin on T. Heikkilä laatinut nämä taulut uudestaan ja julkaissut nimellä *Tuotantotaulut pääpuulajeillemme: männylle, kuuselle ja koivulle* (Erikoistutk. 2, 1914. 35 s.).

[2] Tämä teos sekä monografiat ovat ilmestyneet myös suomenkielisinä käännöksinä.

K. O. ELFVING, E. T. NYHOLM, Y. E. RAINIO y.m. julkaisivat.[1] J. I. LIRO, joka metsäopiston loppuvuosina toimi sen luonnontieteiden opettajana, julkaisi muutamia huomattavia kasvipatologisia tutkimuksia, jotka joko kokonaan tai osaksi kohdistuvat metsän tuhosieniin.

Joukko metsätieteellisiä kokeita ja tutkimuksia, joskin yleensä verraten vaatimattomia, toimitettiin Mustialan maanviljelysopistolla, jossa vuodesta 1881 kahden vuosikymmenen aikana toimi maataloudellinen koeasema. Tämän koeaseman metsäosastolla toimittivat kokeita opiston metsätalouden opettajat A. BORENIUS, TH. CANNELIN ja L. STENBÄCK. Kokeet, joiden tuloksia on julkaistu osaksi »Maataloushallituksen Tiedonannoissa», osaksi metsätaloudellisissa aikakausjulkaisuissa, koskivat maan lämpöä eri puulajien alla verrattuna metsättömän maan lämpöön, raivausten vaikutusta kantovesojen nousemiseen, harvennushakkausten merkitystä, kaskiviljelystä, ulkomaalaisten puulajien viljelemistä, maapeitteen vaikutusta puun siementen itämiseen, laiduntamisen haitallisuutta, tervanpolttoa, eri puulajien lämmitysarvoa y.m.

Useissa valtionmetsissä eri osissa maata pantiin metsähallinnon toimesta jo 1860- ja 1870-luvuilla alulle erinäisiä metsänhoidon alaan kuuluvia kokeita, kuten aukeiksi palaneiden kuivien kankaiden metsittämiskokeita, viljelyskokeita ulkomaalaisilla puulajeilla, suonkuivauksia y.m. Metsittämiskokeiden tuloksia ovat selostaneet T. J. BLOMQVIST ja K. O. ELFVING (S. My. J:ssa).

Huomauttamatta ei myöskään voida jättää, että metsätieteiden eräiden lähitieteiden alalla tehtiin jo muutamia vuosikymmeniä sitten useita tutkimuksia, joilla oli metsätaloudellistakin merkitystä. Mainittavat ovat varsinkin J. P. NORRLINin kasvimaantieteelliset tutkimukset[2],

[1] Samaa on sanottava eräiden metsänhoitovirkamiesten samanaikaisista pikku julkaisuista, joista mainittakoon esim. ALBERT SIVÉNin lukuisat puiden kuutioimista ja kasvua koskevat kirjoitelmat.

[2] Huomattavimmat näistä tutkimuksista, jotka alkuaan ilmestyivät Societas pro Fauna et Flora Fennica-seuran julkaisuissa ruotsinkielellä, ovat NORRLINin kuoleman jälkeen Suomen Metsätieteellisen Seuran toimesta julkaistut saksankielisinä käännöksinä Acta Forestalia Fennican 23. niteessä. Samaan niteeseen sisältyy A. K. CAJANDERin muistopuheen muodossa esittämä katsaus NORRLINin elämäntyöhön sekä CAJAN-

joista ovat alkunsa saaneet Suomessa myöhemmin suoritetut metsä- ja suotyyppitutkimukset, jotka metsätaloudessa ovat saavuttaneet suuren sekä tieteellisen että käytännöllisen merkityksen, A. O. Kairamon (Kihlman) arvokas tutkimus *Pflanzenbiologische Studien aus Russisch Lappland* (A. S. F. F. F. 6:3, 1890. 264 + XXIV s. + 14 kuvataulua ja kartta.), jossa selvitellään sellaista metsätieteellistä peruskysymystä kuin metsänrajaa tundraa vastaan, sekä Theodor Homénin hallatutkimukset[1], jotka tosin kohdistuivat ensi sijassa maanviljelykseen, mutta joilla oli myös huomattava metsänhoidollinenkin merkitys. Näiden rinnalla ansaitsevat tulla mainituiksi eräät Hjalmar Hjeltin ja R. Hultin kasvitieteelliset julkaisut, varsinkin Hjeltin *Conspectus Florae Fennicae* (A. S. F. F. F. 5, 21, 30, 35, 41 ja 51, 1888—1923) ja *Utbredning af Finlands träd, buskar och ris med särskildt afseende å deras gränser* (F. F. M. 14, 1897. 43 s. + 2 karttaa.) sekä Hultin *Vedväxternas utbredning i Finland* (Vetensk. Meddel. af Geogr. Fören. i Finland 3, 1896, s. 1—61 ynnä 1 kuvataulu ja kartta) ja *Växtgeografiska anteckningar från den Finska Lappmarkens skogsregioner* (A. S. F. F. F. 16: 2, 1898. 200 s.). P. A. Karstenin sienitutkimuksilla[1] on merkitystä myös metsän tuhosienten tuntemukselle.

Korkeamman metsäopetuksen siirtäminen Helsingin yliopistoon sekä Suomen Metsätieteellisen Seuran perustaminen ja toiminta.

Edellä on jo mainittu, että Evon metsäopisto v. 1908 lakkautettiin. Muutamia vuosia aikaisemmin oli metsäopistolle myönnetty lisää opettajavoimia, joten opetus voitiin saada monipuolisemmaksi, mutta tämä toimenpide oli vain väliaikainen, sillä opiston päivät olivat jo luetut. Osoittautui nimittäin, että niin syrjäiseen erämaaseutuun kuin Evo oli peräti vaikeata saada pysyvästi kiinnitetyksi riittävä määrä hyviä opettajia, jotapaitsi opiston varustaminen kunnollisilla opetus- ja tutkimusväli-

---

derin esitelmä *Einige Hauptzüge der pflanzentopographischen Forschungsarbeit in Finnland.* Kts. myös A. K. Cajander: *Ein pflanzengeographisches Arbeitsprogramm, in Erinnerung an Johan Petter Norrlin* (A. S. F. F. F. 49: 4. 1921).

[1] Ilmestyneet Suomen Tiedeseuran julkaisusarjoissa.

neillä niinikään kohtasi suuria vaikeuksia. Vähitellen kypsyi ja sai yhä yleisemmän kannatuksen ajatus, että korkeampi metsäopetus oli siirrettävä Helsingin yliopistoon, jolla pääkaupungissa sijaiten äsken mainituissa suhteissa oli kokonaan toisenlaiset edellytykset kuin Evolla. Tämä ajatus, jonka hyväksi myös metsähallituksen silloinen ylitirehtööri P. W. HANNIKAINEN tehokkaasti toimi, toteutuikin v. 1908.

Korkeamman metsäopetuksen siirtämisellä Evolta Helsinkiin tuli olemaan suuri merkitys paitsi itse tälle opetukselle ja sen kautta Suomen metsätaloudelle myös, osaksi välittömästi, osaksi välillisesti Suomen metsätieteelliselle tutkimustoiminnalle, jolle nyt ensimmäisen kerran avautuivat elpymisen mahdollisuudet. Sekä opettajat että ylioppilaat joutuivat Evon ahtaasta ja eristetystä seurustelupiiristä yliopistokaupungin suhteellisesti laajaan tieteelliseen seurustelupiiriin, jossa kävi mahdolliseksi vuorovaikutus muiden tieteiden harjoittajain kanssa. Yliopiston metsätieteellisen laitoksen pääasiassa ammattikirjallisuutta käsittävän kirjaston lisäksi oli nyt käytettävänä myös verraten hyvin varustettu yliopiston kirjasto ja useiden tieteellisten seurojen ja laitosten arvokkaat kirjastot. Innostusta metsätieteiden syvällisempään opiskeluun ja sen yhteydessä itsenäisiin metsätieteellisiin tutkimuksiin oli omansa herättämään se, että metsätieteissä voitiin suorittaa paitsi metsänhoitajan toimeen valmistukseksi tarkoitettua metsänhoitotutkintoa myös kandidaatti- ja lisensiaattitutkinnot. Korkeamman metsäopetuksen siirron välitön elvyttävä vaikutus metsätieteelliseen tutkimustoimintaan tuskin kuitenkaan olisi tuntunut niin pian kuin todellisuudessa tapahtui ellei ensimmäiseksi metsätieteen professoriksi olisi tullut henkilö, jolla tähän toimeen oli aivan erikoiset edellytykset, dosentti tri A. K. CAJANDER, joka jo Evolla oli lyhyen ajan toiminut metsäopiston opettajana ja väliaikaisena johtajana. Hän oli saanut monipuolisen ja perusteellisen luonnontieteellisen ja metsätieteellisen koulutuksen sekä kotimaassa että ulkomailla ja laajoilla tutkimusmatkoillaan Euroopassa ja Aasiassa hän oli perehtynyt sekä kulttuurimetsiin että koskemattomiin luonnonmetsiin, jotapaitsi hänellä oli harvinainen kyky innostaa oppilaitaan tieteelliseen tutkimustyöhön sekä pitää vireillä ja ohjata oikeaan suuntaan tätä innostusta.

Välillisesti saattoi korkeamman metsäopetuksen siirtäminen Helsinkiin metsätieteellisen tutkimustoiminnan elpymään sen kautta, että tämä siirto aiheutti myös erikoisen metsätieteellisen seuran perustamisen Suomeen.

Tämän seuran, Suomen Metsätieteellisen Seuran, perustamisen syistä mainitsee A. K. Cajander, jonka aloitteesta seuran perustaminen tapahtui[1]:

»Ne henkilöt, jotka olivat saaneet tehtäväkseen metsätieteen edustuksen yliopistossa, tunsivat tehtävänsä vastuun liian raskaana uskaltaakseen sitä yksin ryhtyä kantamaan. Selvittämättömiä kysymyksiä oli vallan liian paljon, jotta he olisivat yksin ehtineet niitä tutkia ja ratkaista; tarvittiin lisävoimia. Suomen Maantieteellisen Seuran esimerkki tuntui viittaavan, mihin suuntaan se oli tapahtuva. Tieteellistä työtähän harjoittavat monet muutkin kuin vain ne jotka ovat ammattitieteilijöitä, sillä mitäpä on lopultakaan tieteellinen työ muuta kuin esiintyvien kysymyksien kriitillisellä tavalla selvittämistä. — — — Tuntui toivottavalta koota yhteen ne voimat, jotka eri tahoilla, useinkin toisistaan tietämättä työskentelivät yhteisten päämäärien hyväksi.

Mutta syitä oli muitakin. Ennen kaikkea oli kokemus osoittanut, että tieteellisillä seuroilla oli erinomaisen suuri kasvattava merkitys. Tieteellisissä seuroissa nuoret alkavat tieteilijät ovat tilaisuudessa kuulemaan esitelmiä mitä erilaisimmilta tieteensä aloilta ja siten saamaan lukuisasti uusia herätteitä. Siellä he ovat tilaisuudessa esittämään muillekin omien tutkielmiensa tuloksia, saamaan niistä muiltakin tunnustusta ja tarvittaessa saamaan osakseen kritiikkiä muualtakin kuin vain omien opettajiensa taholta. Sellainen on omiaan kannustamaan jatkuviin ja yhä parempiin tutkimuksiin. — —»

Sen jälkeen kuin ensin yksityisissä piireissä oli keskusteltu metsätieteellisen seuran perustamisesta pidettiin huhtikuun 29 p:nä 1909 seuran perustava kokous. Hyväksyttyjen sääntöjen mukaan Suomen Metsätie-

[1] A. K. Cajander: Katsaus metsätieteelliseen tutkimustoimintaan Suomessa. (Esitetty Suomen Metsätieteellisen Seuran 10-vuotiskokouksessa.) Sisältyy julkaisuun Suomen Metsätieteellisen Seuran toiminta 1917—1920. (A.F.F. 14, 1920. s. 59—68.)

teellisen Seuran tarkoituksena tuli olemaan »työskennellä metsätieteen kehittämiseksi Suomessa, ollen yhdyssiteenä niiden henkilöiden välillä, jotka tutkivat kotimaista metsätaloutta ja sen perusteita sekä sen suhteita muihin talouden haaroihin». Tätä tarkoitusta oli pyrittävä toteuttamaan varsinkin: 1) keräämällä eri osista maata seuran työskentelyalaan kuuluvia tietoja; 2) myöntämällä avustusta metsätieteellisiin kokeisiin, retkeilyihin, tutkimusmatkoihin ja muihin metsätieteellisiin tutkimuksiin sekä 3) toimittamalla julkaisuja ja 4) pitämällä kokouksia.

Suomen Metsätieteellisen Seuran aloittaessa toimintansa olivat sen työvoimat sangen vähälukuiset, mutta tämä puute korjautui vähitellen, varsinkin sen jälkeen kuin seura myöskin metsätieteitä opiskelevien piiristä rupesi saamaan metsätieteelliseen tutkimustyöhön innostuneita, uutteria jäseniä. Paljon vakavampaa laatua oli varain puute, joka ensimmäisinä vuosina mitä suurimmassa määrässä vaikeutti seuran toimintaa. Silloinen hallitus nimittäin jätti huomioonottamatta seuran uudistetut anomukset saada muiden tieteellisten seurain tavoin valtion avustusta toimintansa tukemiseksi, ja kun seura oli vielä nuori ja varsin vähän tunnettu, ei myöskään yksityiseltä taholta ollut avustusta saatavissa. Näin ollen ei ensimmäisinä toimintavuosina esim. voitu myöntää stipendejä nuorille tutkijoille eikä edes painattaa seuralle julkaistavaksi jätettyjä käsikirjoituksia. Ellei seuran ensimmäiseksi sihteeriksi olisi tullut valituksi prof. CAJANDER, joka näinä vaikeina vuosina uupumattomalla tarmolla piti seuran piirissä vireillä harrastusta metsätieteelliseen tutkimustyöhön, huolehti ohjelman hankkimisesta seuran kokouksiin ja väsymättömästi etsi seuralle apulähteitä, olisi seuran toiminta varmaan täydelleen lamaantunut. Luottaen parempien aikojen koittoon seuran toimintaa siis pysähtymättä jatkettiin, joskin sangen vaatimattomassa muodossa: pääasiassa kokoontumalla useita kertoja vuodessa kokouksiin, joissa pidettiin esitelmiä metsätieteiden tai niiden lähitieteiden aloilta.

Vasta v. 1913 alkoi seuran sihteerin ponnistuksilla seuran taloudellisen tilan parantamiseksi olla menestystä. Mainittuna vuonna nim. seuralle myönnettiin eduskunnan hoidettavana olevasta LÄNGMANIN lahjoitusrahastosta 3,000 Suomen markan avustus. Vähäistä aikaisemmin oli hallitus antanut seuralle oikeuden painattaa maksuttomasti arvok-

kaimpia julkaisujaan valtion kirjapainossa. Täten seuralle kävi mahdolliseksi saattaa julkisuuteen julkaisusarjansa *Acta Forestalia Fennica* kaksi ensimmäistä nidettä. Samana vuonna eduskunta anoi yleisistä varoista myönnettäväksi seuralle 14,000 markan vuotuisen avustuksen. Korkeimmassa paikassa tämä anomus tosin jätettiin huomioonottamatta, mutta anomuksella oli joka tapauksessa se seuraa rohkaiseva moraalinen merkitys, että eduskunta oli osoittanut ymmärtävänsä seuran toiminnan arvon. Hallituskin katsoi voivansa antaa seuralle sen tunnustuksen, että valtion menosääntöön otettiin 1,000 markan määräraha seuraa varten. Seuran uudistetuista anomuksista huolimatta ei tätä vähäistä valtion avustusta sittemmin koroitettu niin kauvan kuin venäläinen hallitusvalta Suomessa oli ohjaksissa. Tutkimustoiminnalle suureksi avuksi näissä vaikeissa oloissa oli, että metsähallituksen silloinen ylitirehtööri P. W. Hannikainen koetti mahdollisuuden mukaan järjestää nuorille metsänhoitomiehille tilaisuutta tutkimusten suorittamiseen virkatehtävien ohella.

V. 1914 seura sai Kauppaneuvos O. A. Malmin lahjoitusrahastosta 25,000 markan avustuksen kasvu- ja tuottotaulujen laatimista varten Suomen pääpuulajeille ja kahta vuotta myöhemmin eräät puunjalostusteollisuusyhtiöt lahjoittivat seuralle lähes 10,000 markkaa. Nyt avautuivat seuralle ensimmäisen kerran laajemmat toiminnan mahdollisuudet. Paitsi sitä, että jälleen voitiin julkaista muutamia Acta-niteitä, kävi seuralle myös mahdolliseksi ryhtyä painattamaan kokouspöytäkirjat esitelmäselostuksineen sekä jakaa säännöissä edellytettyjä stipendejä metsätieteellisiä tutkimuksia varten. Vielä ilahduttavamman käänteen toi mukanaan vuosi 1917, jolloin Suomi vapautui tsaarivallan sorrosta ja sai itsenäisesti määrätä asioistaan. Metsätieteellistä Seuraa varten otettiin vielä samana vuonna valtion menosääntöön 7,000 markan määräraha ja seuraavasta vuodesta alkaen seura sai nauttia 14,000 markan vuotuista valtion avustusta aina siihen asti kunnes tämä avustus Suomen rahan arvon alentumisen johdosta v. 1923 korotettiin 75,000 markkaan. Lisäksi on seura yksityiseltä taholta silloin tällöin edelleenkin saanut vastaanottaa lahjoituksia, vuosina 1917—1925 kaikkiaan 134,000 markkaa. Yleisen taloudellisen tilanteen viime vuosina kiristyttyä ovat yksi-

tyiset lahjoitukset nyttemmin kuitenkin supistuneet hyvin vähiin. Kun seuran painatuskulut ja julkaisujen vaihdosta aiheutuvat kustannukset samaan aikaan ovat melkoisesti kohonneet, on seuran ollut pakko pyytää valtion avustusta lisättäväksi. Vastikään se onkin korotettu 100,000 markkaan vuodessa. Pääosa tästä summasta tulee käytetyksi julkaisujen painattamiseen ja vaihtoon; tutkimusstipendien osalle jää varsin vaatimaton määrä, niinpä tutkimusstipendit ovatkin harvoin 2,000—3,000 markkaa suurempia. Tutkimustöiden tehokkaaseen rahalliseen avustamiseen ei siis seuran nykyinenkään valtion avustus riitä.

Metsätieteellisen Seuran jäsenluku on tätä nykyä (v. 1926) 133; lisäksi seuralla on ulkomailla lukuisia kirjeenvaihtajajäseniä ja kunniajäsenikseen seura on kutsunut useita koti- ja ulkomaisia ansioituneita tiedemiehiä.[1] Seura on julkaisuvaihdossa yli 200 koti- ja ulkomaisen tieteellisen laitoksen, seuran, aikakausjulkaisun y.m. kanssa. Tutkimukset julkaistaan seuran julkaisusarjassa Acta Forestalia Fennica joko suurilla kulttuurikielillä tai suomeksi (tai ruotsiksi); jälkimmäisessä tapauksessa on tutkimukseen liitetty pääpiirteinen selostus jollakin suurella kulttuurikielellä.

Metsätieteellisen Seuran toiminnan valaisemiseksi esitettäköön tässä vielä seuraavat numerotiedot:

Toiminta-vuodet.	Pidetty kokouksia	Kokouksissa esitelmiä	Valmistunut Acta-niteitä	Actoissa tutkimuksia (ja kirjoitelmia)
1909—1914	29	58	2	5
1914—1919	24	55	7	16[2]
1919—1924	42	69	17	79[3]
1924—1926	13	22	4	14

[1] Seuran sihteerinä ovat toimineet prof. A. K. CAJANDER 1909—1917, metsäneuvos O. J. LAKARI 1917—1922 ja prof. YRJÖ ILVESSALO 1922—. Puheenjohtaja vaihtuu joka vuosi.

[2] Ynnä seuran kokouspöytäkirjat esitelmäselostuksineen toimintavuosilta 1909—1917.

[3] Ynnä seuran kokouspöytäkirjat esitelmäselostuksineen toimintavuosilta 1917—1920.

Jos verrataan Metsätieteellisen Seuran toimintaa maailmansodan jälkeen muiden kotimaisten tieteellisten seurojen toimintaan, niin tuskin voitanee olla eri mieltä siitä, että seura on mitä työn produktivisuuteen tulee asetettava ensimmäisten joukkoon. Ennen kaikkea tämän seuran ansioksi on luettava, että metsätieteellinen tutkimustoiminta Suomessa on miltei tyhjästä vain puolentoista vuosikymmenen aikana kehittynyt lupaavalle alulle. Metsätieteellisellä Seuralla on näin ollen ollut keskeinen sija metsätieteellisen tutkimustoiminnan laajalla työvainiolla Suomessa. Tämä seura vuorostaan on aikaansaannoksistaan kiitollisuuden velassa ennen kaikkea perustajalleen ja henkiselle johtajalleen professori A. K. CAJANDERille. »Kaikki mitä Seurassa on tehty, versoo hänen kylvöstään, saa ravintoa hänen tietolähteistään.»[1]

Metsätieteellisen Koelaitoksen perustaminen ja toiminta.

Jo paljon aikaisemmin kuin Suomen Metsätieteellinen Seura oli perustettukaan oli Suomessa herätetty ajatus metsätieteellisen koelaitoksen aikaansaamisesta vaikka tämä ajatus sitten toteutui vasta useita vuosia Metsätieteellisen Seuran perustamisen jälkeen.

Ensimmäisen kerran lienee metsätieteellisen koelaitoksen tarpeellisuudesta huomautettu eräässä v. 1866 pidetyssä Suomen metsänhoitomiesten yksityisessä kokouksessa. Suomen Metsänhoitoyhdistyksen perustavassa kokouksessa Hämeenlinnassa v. 1877 asiasta keskusteltiin jälleen ja sittemmin se oli useasti esillä tämän yhdistyksen kokouksissa, kehittyen vihdoin siihen, että yhdistys v. 1900 teki hallitukselle esityksen metsätieteellisen koelaitoksen perustamisesta. Myöskin hallituksen v. 1896 yksityismetsien tilaa tutkimaan asettama komitea ehdotti mietinnössään v. 1898 metsätieteellisen koelaitoksen perustamista. Tätä ehdotusta kannatti hallituksen niinikään v. 1896 valtion metsätalouden järjestelyä suunnittelemaan asettama komitea v. 1900 valmistuneessa mietinnössään. Yksityismetsäkomitea ehdotti metsätieteellisen koelailaitoksen perustettavaksi Evon metsäopiston yhteyteen, kun sitävastoin

[1] (»Så gott som allt, som inom Samfundet gjorts, spirar ur hans sådd, hämtar näring ur hans kunskapskällor».) Tohtori A. PALMGRENin sanat Metsätieteellisen Seuran 10-vuotiskokouksessa.

valtionmetsäkomitea, joka mietinnössään ehdotti korkeamman metsäopetuksen siirrettäväksi Evolta Helsingin yliopistoon, oli sitä mieltä, että metsätieteellinen koetoiminta oli sijoitettava eri osastona maanviljelystaloudelliseen koelaitokseen. Pääasiassa syystä että korkeamman metsäopetuksen uudestaan järjestely täten oli joutunut päiväjärjestykseen, ryhdyttiin hallituksen taholla ensimmäiseen valmistavaan toimenpiteeseen koelaitoskysymyksen ratkaisun jouduttamiseksi vasta v. 1906, jolloin hallitus metsähallituksen esityksestä [1] antoi tri A. K. CAJANDERin tehtäväksi tutkia metsätieteellisen tutkimustoiminnan järjestelyä ulkomailla ja laatia ehdotus metsätieteellisen koelaitoksen järjestämisestä Suomessa. Tuloksena oli CAJANDERin laaja, seikkaperäinen julkaisu *Metsätieteellinen tutkimustoiminta ulkomailla ja ehdotus sen järjestämiseksi Suomessa* (138 s.), joka ilmestyi painosta v. 1909. [2] Yksityiskohtaisen perustelun jälkeen tässä julkaisussa ehdotettiin Suomeen perustettavaksi hallinnollisesti metsähallituksen alainen, mutta sisäisesti siitä riippumaton metsätieteellinen tutkimuslaitos, jolla olisi omat opetus- ja hallintotoimista vapaat tutkimusvirkamiehensä. Laitoksen vakinaisena virkamiehistönä oli oleva kolme tutkijaa, tutkimusaloinaan metsänhoito, metsien tuotanto ja metsämaaperäoppi. Lisäksi edellytettiin laitokseen voitavan asettaa ylimääräisiä tutkijoita sekä assistentteja ja kansliaapulaisia.

Vielä samana vuonna hallitus asetti komitean valmistamaan seikkaperäiset, asian vaatimat ehdotukset metsätieteellisen koelaitoksen perustamista varten. Komitean ehdotus, joka valmistui v. 1913, kävi pääasiassa samaan suuntaan kuin CAJANDERin, mutta kun komitea oli tietoinen siitä, ett'ei metsätieteellistä koelaitosta pätevien työvoimien puutteessa ilman viivytystä olisi voitu saada alkamaan toimintaansa siinä laajuudessa kuin komitean ehdotus edellytti, ehdotti komitea ensi aluksi perustettavaksi väliaikaisen metsätieteellisen koelaitoksen, johon oli määrättävä kolme tieteelliseen työhön pystyvää metsänhoitomiestä toimimaan väliaikaisina tutkijoina. Komitean ehdotusta kannattivat sekä yliopis-

[1] Aloite lähti metsähallituksen silloisesta ylijohtajasta P. W. HANNIKAISESTA.

[2] Edellä esitetty katsaus metsätieteellisen tutkimustoiminnan alkuvaiheisiin Suomessa nojautuu suureksi osaksi tähän julkaisuun.

ton konsistori että metsähallitus ja metsänhoitomiehet, ja yleisesti toivottiin, että metsätieteellinen koelaitos olisi päässyt vuoden 1915 alusta aloittamaan toimintansa. Maailmansodan aiheuttamat poikkeukselliset olot kuitenkin tekivät nämä toiveet tyhjiksi ja koelaitoksen perustaminen näytti jälleen lykkääntyvän epämääräiseen tulevaisuuteen.

Mutta viivytys tulikin tällä kertaa lyhytaikaisemmaksi kuin luultiin. Venäläinen hallitus kukistui v. 1917 ja uusi kotimainen hallitus riensi useiden muiden uudistusten ohessa myös toteuttamaan metsätieteellisen koelaitoksen perustamisen. Asetus laitoksen perustamisesta annettiin jo saman vuoden lokakuun 24 p:nä ja toimintansa aloitti laitos heinäkuun 1 p:nä 1918.

Suomen Metsätieteellinen Koelaitos on opetuksesta erillään oleva metsätieteellinen tutkimuslaitos.[1] Johtosääntönsä mukaan sen tarkoituksena on »tutkimuksilla ja kokeilla selvitellä järkiperäisen metsätalouden perusteita sekä niitä seikkoja, joista Suomen metsätalouden tuottavaisuus riippuu». Siinä on toistaiseksi kolme osastoa: metsänhoito-osasto, metsänarvioimisosasto ja metsämaaperäosasto, joita kutakin edustaa professori.[2] Näiden pätevyysvaatimukset ovat samat kuin Helsingin yliopiston metsätieteen professorien. Heidän tulee ennen kaikkea olla tieteellisesti perehtyneitä metsänhoitomiehiä, mutta samalla myöskin käytännölliseen metsätalouteen perehtyneitä. Tieteellinen pätevyytensä omalla tutkimusalallaan on heidän osoitettava paitsi tarpeellisilla opinnäytteillä myös omintakeisiin tutkimuksiin perustuvilla julkaisuilla; niinikään heidän on julkaisuilla osoitettava kykeneväisyytensä sovelluttaa tutkimustensa tuloksia käytännölliseen metsätalouteen. Professorien lisäksi voi valtioneuvosto määräajaksi kutsua laitokseen muitakin henkilöitä

[1] Tämä tietysti ei estä laitoksen tutkijoita virkansa ohella toimimasta esim. dosenttina tai ylimääräisenä opettajana yliopistossa tai teknillisessä korkeakoulussa, kuten on tapahtunutkin.

[2] Komitea, jonka hallitus v. 1917 asetti laatimaan ehdotusta valtionmetsäin hoidon ja käytön järjestämisestä, on v. 1920 julkaisemassaan mietinnössä m.m. ehdottanut, että koelaitokseen perustettaisiin neljäskin professorin virka, jonka haltijan erikoisalana olisivat metsätilastolliset tutkimukset, mutta tämä ehdotus ei ole vielä johtanut käytännöllisiin toimenpiteisiin. Myöskin metsäteknologinen osasto, jonka tarpeellisuudesta eri tahoilla on huomautettu, odottaa vielä perustamistaan.

toimittamaan erikoistutkimuksia. Jokaisella professorilla on verraten itsenäisesti toimiva assistentti; sitäpaitsi laitoksella tietysti on tarpeellinen määrä lasku- y.m. apulaisia. Laitos on hallinnollisesti metsähallituksen alainen, tosiasiassa se kuitenkin on kutakuinkin itsenäinen. Niinpä sillä on oma hallitus, jonka muodostavat sen professorit ynnä ne Helsingin yliopiston metsätieteen professorit, jotka valtioneuvosto kutsuu määräajaksi tähän tehtävään. Hallitus valitsee keskuudestaan johtajan kolmeksi vuodeksi kerrallaan.[1] Jokainen professori saa yleensä itse valita tutkimusaiheensa ja tutkimukset julkaisee kukin, myöskin assistentit, omissa nimissään.

Metsätieteellinen Koelaitos sijaitsee Helsingin kaupungissa, mutta sen käytettäväksi on valtionmetsistä eri osissa maata erotettu kokeilualueita, toistaiseksi kaikkiaan 17. Kokeilualueita on tarkoitus hoitaa mallihoitoalueina, joissa metsänhoidon ohella toimitetaan monenlaatuisia metsätieteellisiä kokeita.[2] Eräät, etupäässä pienemmät alueet ovat kuitenkin osaksi luonnonsuojelusalueita. Alueiden suuruus vaihtelee melkoisesti; suurin on 16,500 ha, pienin vain 6 ha. Yhteensä on niiden pinta-ala n. 53,700 ha. Niiden hoitoa varten on laitoksen johtajalla apunaan ylimääräisiä metsänhoitomiehiä, isommissa kokeilualueissa on metsäkoulun käynyt työnjohtaja. Paitsi kokeilualueilla on koelaitoksella oikeus tehdä tutkimuksia sekä niitä varten tarpeen vaatiessa (metsähallituksen luvalla) kaadattaa puita sekä toimeenpanna kokeita muillakin valtion omistamilla metsämailla. — Koelaitoksen menosääntö oli v. 1926 670,500 markkaa; kokeilualueiden hallinnosta ja hoidosta koituvat menot sisältyvät valtion metsätalouden menosääntöön.

Sen lyhyen ajan kuluessa, jonka Metsätieteellinen Koelaitos on ollut toiminnassa, on se jo ehtinyt saada paljon näkyvää aikaan. Tutkimuksia on toimitettu melkoinen määrä, niiden joukossa ylimääräisenä valta-

[1] Johtajana on koko ajan toiminut metsänhoito-osaston professori tri OLLI HEIKINHEIMO. Metsänarvioimisosaston professorina ovat toimineet tri O. J. LAKARI v.t. 1918—1922 ja tri YRJÖ ILVESSALO v:sta 1922 alkaen. Maaperäosaston professorin virka on vielä vakinaisesti täyttämättä; sitä hoitaa v:sta 1923 tri V. T. AALTONEN. Suokysymysten erikoistutkijana on tri VÄINÖ AUER.

[2] Ajatus mallipuistoista on siis toteutunut tässä muodossa — lähes 70 vuotta sen jälkeen kuin se ensimmäisen kerran lausuttiin julki.

kunnan metsävarojen arvioiminen, joka aloitettiin v. 1922 ja nyt on loppuun saatettu. Kokeilualueissa on äskettäin pantu alulle viljelyskokeita koti- ja ulkomaisilla puulajeilla, uudistushakkaus-, suonkuivaus-, y.m. kokeita sekä asetettu lukuisia pysyviä kasvatushakkaus- y.m. koealoja. Eräissä kokeilualueissa on tällaisia kokeita jo varhaisemmiltakin ajoilta. Laitoksen julkaisusarjaa *Metsätieteellisen Koelaitoksen Julkaisuja* (*Communicationes ex Instituto quaestionum forestalium Finlandiae editae*), jossa tutkimustulokset julkaistaan, on ilmestynyt 10 nidettä sisältäen 33 tutkimusta ynnä katsauksen laitoksen perustamiseen ja toimintaan vv. 1918—1920. Tutkimukset julkaistaan suomenkielellä tai jollakin suurella kulttuurikielellä; edellisessä tapauksessa on kuhunkin tutkimukseen liitetty selostus jollakin suurella kulttuurikielellä, jälkimmäisessä tapauksessa suomenkielellä. Laitos on julkaisujen vaihdossa lukuisten koti- ja ulkomaisten tieteellisten laitosten, seurojen y.m. kanssa.

Työnjako Metsätieteellisen Seuran ja Metsätieteellisen Koelaitoksen välillä.

Edellä mainitussa julkaisussaan »Metsätieteellinen tutkimustoiminta ulkomailla ja ehdotus sen järjestämiseksi Suomessa» oli Cajander esittänyt ajatuksen, että Suomeen oli metsätieteellisestä tutkimustoiminnasta huolehtimaan perustettava kaksi elintä: metsätieteellinen koelaitos ja metsätieteellinen seura, mikä ajatus sitten toteutuikin, kuten yllä on nähty. Valtion ylläpitämä metsätieteellinen koelaitos oli välttämätön, jotta voitaisiin suorittaa tutkimuksia, jotka ulottuvat laajoille alueille tai edellyttävät pitkäaikaisia kokeita, jollaisia yksityisille tutkijoille ylivoimaisia tutkimuksia metsätieteen alalla metsätalouden erikoisluonteesta johtuen on paljon. Metsätieteellinen seura taas tarvittiin herättämään ja vireilläpitämään harrastusta *vapaaseen*, *yksityiseen* tutkimustoimintaan, tätä toimintaa apurahoilla tukemaan sekä jossakin määrin järjestelemään sitä ja julkaisemaan tutkimusten tulokset painosta. »Käsi kädessä kulkien, toinen toistaan täydentäen voivat ne parhaalla tavalla viedä maamme metsätiedettä ja sen mukana myöskin metsätaloutta eteenpäin.»

Pääpiirteissään tällaiseksi on työnjako näiden metsätieteellisen tutkimustoiminnan molempien elinten kesken käytännössä muodostunutkin

ja saavutettu kokemus osoittaa, että CAJANDERin käsitys tällaisen työnjaon tarkoituksenmukaisuudesta oli oikeaan osattu. Tutkimuksia on saatu aikaan paljon enemmän ja tutkimustoiminta on muodostunut monipuolisemmaksi kuin mitä asianlaita olisi ollut, jos tutkimustoiminta olisi monopolisoitu pelkästään virastotyöksi valtion metsätieteelliseen koelaitokseen, ja tämä kaikki on saavutettu suhteellisen vähäisin lisäkustannuksin. Osoituksena hyvästä yhteishengestä, joka on vallinnut Metsätieteellisen Seuran ja Metsätieteellisen Koelaitoksen kesken, mainittakoon, että jälkimmäisen virkailijat tavallisesti ovat tutkimustensa tuloksista pitäneet esitelmiä Metsätieteellisessä Seurassa ja useat heistä ovat toimineet seuran luottamustoimissa.

Muu metsätieteellinen tutkimus- ja julkaisutoiminta.

Jo tämän vuosisadan alkuvuosina eli siis useita vuosia aikaisemmin kuin Suomen Metsätieteellinen Seura ja Metsätieteellinen Koelaitos olivat perustetut, oli silloinen teollisuushallituksen yli-intendentti A. F. TIGERSTEDT omistamallaan Mustilan tilalla Elimäellä ryhtynyt suurisuuntaisiin viljelyskokeisiin ulkomaalaisilla puulajeilla. Nämä kokeet, jotka nykyään käsittävät n. 200 puulajia, eroavat useista muista vastaavanlaisista kokeista siinä, että ne ovat ankarasti tieteellisellä pohjalla, joskin niiden tarkoitus on puhtaasti käytännöllinen. Kokeiltavien puulajien valikoinnissa on kiinnitetty tarkka huomio ilmastoseikkoihin ja siementen hankinnassa niiden provenienssiin. Samoin on jokaisen koeviljelyksen paikan sekä perustamistavan ja hoidon valinnassa pyritty mahdollisuuden mukaan tyydyttämään asianomaisen puulajin biologiset ominaisuudet. Vertailun saavuttamiseksi on tehty rinnakkaiskokeita kotimaisilla puulajeilla. Perustettujen koeviljelysten kehityksestä on huolellisesti pidetty kirjaa; tässä, kuten kaikessakin kokeilutyössä on Mustilan tilan isännöitsijä C. G. TIGERSTEDT miltei alusta saakka tehokkaasti ollut mukana. Vertoja hakevalla uhrautuvaisuudella ja asianharrastuksella on täten aikaansaatu kokeilupuisto (arboretum), joka sekä mittasuhteiltaan (n. 100 ha) että tieteelliseltä ja käytännölliseltä arvoltaan on ainoa laatuaan koko Pohjois-Euroopassa. Viljelyskokeiden tähänastisista tuloksista (havupuiden suhteen) tehdään selkoa siv. 33 mainitussa julkaisussa.

Mustilan viljelyskokeiden rinnalla ovat mainittavat, joskin mittasuhteiltaan paljon pienemmät, metsänhoitaja Torsten Ranckenin Karl Forström-osakeyhtiön omistamissa metsissä Finbyssä toimeenpanemat viljelyskokeet koti- ja ulkomaisilla puulajeilla, samoin prof. G. Kompan ulkomaalaisten puulajien viljelyskokeet Karjalohjan Tammistossa ja senaattori A. Osw. Kairamon Hattulan Pekolassa. Yliopistolle metsäopetusta varten v. 1910 harjoitusalueeksi luovutetussa Korkeakosken hoitoalueessa on laajassa mitassa kylvetty ja istutettu sekä koti- että ulkomaisia puulajeja, varsinkin mäntyä, sekä toimeenpantu suo-ojituksia, erilaisia uudistushakkauksia y. m. Nämä työt ovat kuitenkin suoritetut ensi sijassa ylioppilaiden käytännöllisinä harjoituksina. Myöskin useiden teollisuusyhtiöiden ja suurtilojen metsissä sekä metsäkoulujen harjoitusalueilla toimitetaan sekä metsänviljelys- että suonkuivauskokeita, harvemmin kuitenkin varsinaisesti tieteellisellä pohjalla. Helsingissä sijaitsevan Teollisuuden Keskuslaboratorion v. 1920 perustetulla puunjalostusosastolla sekä Turun ruotsalaisen yliopiston puukemiallisella osastolla suoritetaan puukemiallisia kokeita ja tutkimuksia. Edellisellä laitoksella on oma julkaisusarja: *Meddelanden från Industrins Centrallaboratorium—Teollisuuden Keskuslaboratorion Tiedonantoja;* jälkimmäisen laitoksen tutkimustuloksia on julkaistu sarjassa *Acta Academiae Aboensis.*

Suomen Metsänhoitoyhdistys on apurahoilla tukenut metsätieteellisiä tutkimuksia ja julkaissut niitä julkaisusarjassaan *Erikoistutkimuksia* (vv. 1914—1923 12 nidettä, kussakin yksi tutkimus). Useat niistä ovat akateemista oppiarvoa varten kirjoitettuja tutkielmia. Niinikään on Suomen Metsänhoitoyhdistys Tapio toimituttanut joitakuita metsätieteellisiä tutkimuksia. Myös Suomalainen Tiedeakatemia on joskus avustanut metsätieteellisiä tutkimuksia sekä julkaissut muutamia tutkimuksia *Annales*-sarjassaan. Useita metsätieteellisiin tutkimuksiin läheisesti liittyviä tutkimuksia sekä eräitä puhtaastikin metsätieteellisiä tutkimuksia on ilmestynyt painosta Societas pro Fauna et Flora Fennica-seuran *Acta Societatis pro Fauna et Flora Fennica*-sarjassa sekä Suomen Maantieteellisen Seuran *Fennia*-sarjassa. Monet valtionkomiteat ovat selvitelleet tärkeitä metsätaloudellisia kysymyksiä ja julkaisseet niistä useinkin metsätieteellisiin tutkimuksiin rinnastettavissa olevia mietintöjä.

Katsaus tähän asti toimitettuihin tutkimuksiin.

Tähänastisessa metsätieteellisessä tutkimustyössä Suomessa on päähuomio pyritty kiinnittämään sellaisiin kysymyksiin, joilla on aktuaalinen käytännöllinen merkitys Suomen metsätaloudelle. Tutkimusten suuri enemmistö on vertailevia tutkimuksia; kokeellisia tutkimuksia, jotka kysyvät runsaammin sekä varoja että aikaa, on toistaiseksi voitu toimittaa vain verraten vähässä määrässä. Mainittavia ovat kuitenkin TIGERSTEDTin laajat puulajiviljelyskokeet, joista edellä jo on kerrottu, sekä ne moninaiset kokeet, joita metsätieteellinen koelaitos viime vuosina on pannut alulle.

Suomessa suoritetut metsätieteelliset tutkimukset voidaan yhdistää kolmeksi pääryhmäksi: 1) biologis-metsänhoidolliset tutkimukset, 2) metsätaksatooriset ja metsäpoliittiset tutkimukset sekä 3) metsäteknologiset tutkimukset. Viimeksi mainittu ryhmä on kuitenkin toistaiseksi vain niukasti edustettu, pääasiassa syystä että on puuttunut tällaisten tutkimusten edellyttämiä verraten kalliita tutkimusvälineitä (laboratorioita ja koneita).

1. Biologis-metsänhoidolliset tutkimukset.

Biologis-metsänhoidollisten tutkimusten johtavana ajatuksena on ollut, että metsänhoitotiede — ellei lukuunoteta metsänhoidon puhtaasti teknillisiä tehtäviä, kuten puiden kaatamista, ojan kaivuuta y.m.s. — on pääasiassa kasvibiologinen tiede ja että metsänhoitotieteellisiä tutkimuksia siitä syystä on kehitettävä ennen kaikkea kasvibiologian ja siihen läheisesti liittyvän kasvimaantieteen pohjalla. Vallan olennaiseksi osaksi ovatkin nämä tutkimukset siten samalla olleet kasvitieteellisiä tutkimuksia. Niiden lopullisena silmämääränä on kuitenkin ollut käytännöllinen metsänhoito, sen saattaminen kestävälle biologiselle pohjalle.

Metsätyypit ja niihin kohdistuvat tutkimukset.

Suomen metsätieteen lähtiessä tämän vuosisadan ensimmäisellä vuosikymmenellä varsinaiselle alkutaipaleelleen osoittautui välttämättömimmäksi tehtäväksi aikaansaada luotettava ja mikäli mahdollista myös luonnollinen kasvupaikkojen luokittelu, joka tyydyttäisi sekä metsätieteellisen tutkimustoiminnan että käytännöllisen metsätalouden tarpeet. Tämä tehtävä tuli ratkaistuksi A. K. Cajanderin tutkimuksella *Ueber Waldtypen* (Fennia 28 ja A.F.F. 1, 1909. 175 s.), jossa esitetään n.s. metsätyyppeihin perustuva kasvupaikkojen luokittelu. Cajander oli, opiskeltuaan prof. J. P. Norrlinin (kts. s. 10) johdolla kasvimaantiedettä, v. 1903 siirtynyt metsäalalle. Kasvimaantieteilijänä hän oli tutkinut varsinkin kasviyhdyskuntia, joten oli hyvin luonnollista, että hän metsäalalle siirryttyään ja tutustuessaan metsätaloudessa Suomessa vanhastaan käytettyyn luonnonmukaiseen maiden luokittelutapaan (»kuiva kangas», »tuore kangas» j.n.e.) johtui ajattelemaan, voitaisiinko näitä luokkia saada tarkemmiksi Norrlinin kehittämällä kasvitopograafisella pohjalla. Lähellä oli ajatus, että metsäkasviyhdyskunnat tarjoisivat keinon metsäkasvupaikkojen luokitteluun. Tämän kysymyksen selvittämiseksi Cajander toimitti pääasiassa Etelä- ja Keski-Saksan metsissä vv. 1906 ja 1907 sekä täydennykseksi kotimaassa vv. 1907 ja 1908 perustavia tutkimuksia, joiden positiivisena tuloksena sitten ilmestyi äsken mainittu julkaisu. Tämä teos antoi perustan ja alkusysäyksen suomalaiselle metsätyyppitutkimukselle, jonka tuloksia Suomen sekä metsätiede että käytännöllinen metsätalous moninaisella tavalla ovat käyttäneet hyväksensä; niinpä metsätieteellisissä tutkimuksissa Suomessa käytetään yksinomaan metsätyyppeihin perustuvaa kasvupaikkojen luokittelua ja v:sta 1914 se on ollut käytännössä valtionmetsien kartoituksessa ja arvioimisessa. Yhä suurenevan käytännön se on saavuttanut metsätilastollisissa selvittelyissä, kuten m.m. se osoittaa, että vv. 1922 ja 1923 toimitetussa koko valtakunnan metsävarojen arvioimisessa metsätyypit olivat metsämaiden luokittelun pohjana. Useiden tutkimusten tulokset viittaavat siihen, että metsätyypit soveltuvat myös sovelletun metsänhoito-opin pohjaksi.

Metsätyyppiteoriaa on Cajander edelleen kehittänyt julkaisussa *Ueber Waldtypen II* (A.F.F. 20, 1921. 41+14 s.) sekä varsinkin vast'ikään

ilmestyneessä teoksessaan *Metsätyyppiteoria* (A.F.F. 29: 2, 1925. 84 s. Suomeksi ja englanniksi; jälkimm. varustettu kirjallisuusluettelolla.), jossa metsätyyppiteoria esiintyy yhä avarammissa puitteissa tarjoten uusia huomionarvoisia mahdollisuuksia ei yksistään metsätalouden vaan myöskin asutus- ja kulttuurihistorian ja asutuspolitiikan sekä kansainvälisen metsänhoidon aloilla. Metsätyyppien tarkoitus on suppeasti selitetty julkaisussa *Was wird mit den Waldtypen bezweckt?* (A.F.F. 25, 1923. 16 s.).

CAJANDERin metsätyyppitutkimuksia täydentävät useissa kohdin eräiden muiden tutkijain tutkimukset, joista tässä mainittakoon K. LINKOLAn *Studien über den Einfluss der Kultur auf die Flora in den Gegenden nördlich vom Ladogasee I—II* (A. S.F.F.F. 45: 1, 1916 ja 45: 2, 1921. I osa 429 s. + 6 taulukkoa ja 20 karttaa, II osa 490 s.), *Itä-Karjalan metsätyyppejä koskevia havaintoja* (Sisältyy julkaisuun Suomen Metsätieteellisen Seuran toiminta v. 1909—1917. A.F.F. 7, 1917. S. 224—245.) ja *Muistiinpanoja kasvillisuudesta talvikkityypin* (*Pyrola-tyypin*) *metsiköissä* (Mets. Aik. 1919, s. 174—182) sekä O. J. LAKARIn *Tutkimuksia Pohjois-Suomen metsätyypeistä* (A.F.F. 14, 1920. 85 s.+10 taulua ja kartta.), ALVAR PALMGRENin Ahvenanmaata koskeva *Zur Kenntnis des Florencharakters des Nadelwaldes* (A.F.F. 22, 1922. 115 s.+kartta.) ja VILJO KUJALAn *Havaintoja Kuusamon ja sen eteläpuolisten kuusimetsäalueiden metsä- ja suotyypeistä* (M.K.J. 4, 1921. 23 s.+42 s. taul.). PALMGREN on Ahvenanmaalla suorittanut muitakin tärkeitä kasvimaantieteellisiä tutkimuksia, joiden tuloksilla on merkitystä myös metsätieteelliselle tutkimukselle, osaksi nimenomaan metsätyyppien selvittelylle. Sellaisia ovat *Studier öfver löfängsområdena på Åland: I. Vegetationen, II. Floran, III. Statistisk undersökning af floran* (A.S.F.F.F. 42, 1915—1917. 634 s. +16 taulukkoa ja 2 karttaa. III osa julkaistu myös saksaksi: A.F.F. 22, 1922.), *Die Entfernung als pflanzengeographischer Faktor* (A.S.F.F.F. 49: 1, 1921. 103 s.+taulukkoliite 10 s. sekä kartta.) ja *Die Artenzahl als pflanzengeographischer Charakter sowie der Zufall und die säkulare Landhebung als pflanzengeographische Faktoren* (A. Bot. F. 1: 1, 1925 ja Fennia 46: 2, 1925. 142 s.+2 karttaa.).

Erikoisesti Suomen metsätyyppeihin kohdistuvat vielä YRJÖ ILVESSALOn *Vegetationsstatistische Untersuchungen über die Waldtypen* (A.F.F. 20, 1922. 73 s.), jossa tilastollisella pohjalla m.m. selvitellään lajilukua

ja lajien runsautta eri metsätyypeillä, eri metsätyyppien kasvillisuuden rakennetta sekä matemaattis-tilastollisella pohjalla käsitellään kysymystä, miten suuria ja lukuisia koealojen tulee olla, jotta ne antaisivat luotettavan ja pääasiassa tyydyttävästi täydellisen kuvan eri metsäyhdyskuntien kasvillisuudesta, ja Viljo Kujalan *Untersuchungen über die Waldvegetation in Süd- und Mittelfinnland: I. Zur Kenntnis des ökologisch-biologischen Charakters der Pflanzenarten unter spezieller Berücksichtigung der Bildung von Pflanzenvereinen, A. Gefässpflanzen, B. Laubmoose, C. Flechten* (M.K.J. 10, 1926. A. 146 s. + suom. sel. 8 s. B. 47 s. + 2 kuvataulua; suom. sel. 8 s. C. Valmistumassa.), *II. Über die Begrenzung der Siedlungen* (M.K.J. 10, 1925. 26 s. + liite; suom. sel. 3 s.), joka selvittelee etenkin eri metsätyyppien pääkasvilajien biologiaa, niiden esiintymisen säännönmukaisuutta ja metsätyyppien (sekä yleensä kasviyhdyskuntien) rajoitusta.

Ulkomaan oloihin kohdistuvista tutkimuksista ovat mainittavat Raf. Björkenheimin *Beiträge zur Kenntnis einiger Waldtypen in den Fichtenwaldungen des deutschen Mittelgebirges* (A.F.F. 6, 1919. 65 s.+5 taulua.) sekä varsinkin K. Linkolan monipuolinen julkaisu *Waldtypenstudien in den Schweizer Alpen* (Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes Rübel in Zürich 1, 1924. 86 s.).

Poikkeavan käsityksen metsätyypeistä on esittänyt Widar Brenner julkaisussaan *Studier över vegetationen i en del av västra Nyland och dess förhållande till markbeskaffenheten* (Fennia 43: 2, 1921 ja Geolog. Kommiss., geotekn. meddel. 32, 1921. 97 s.).

Metsätyyppeihin kohdistuviin tutkimuksiin yhdistettävissä ovat useat edempänä otsakkeiden »Metsämaaperään kohdistuvat tutkimukset» sekä »Metsikköjen kasvua, kehitystä ja rakennetta koskevat tutkimukset» ja »Viljavan maa-alan jakaantumista koskevat tutkimukset» alla mainitut tutkimukset.

Metsämaaperään kohdistuvat tutkimukset.

Metsämaaperätutkimukset ovat tarpeellisten laboratoorioiden puutteessa viime aikoihin asti supistuneet verraten vähiin. Useat niistä liittyvät hyvin läheisesti metsätyyppitutkimuksiin valaisten metsätyyppien ja maaperän välistä korrelatiota. Sellaisia ovat J. Valmarin tutkimus

Beiträge zur chemischen Bodenanalyse (A.F.F. 20, 1921. 31 s.+36 s. taul.) ja sen tuloksiin nojautuva YRJÖ ILVESSALON julkaisu *Ein Beitrag zur Frage der Korrelation zwischen den Eigenschaften des Bodens und dem Zuwachs des Waldbestandes* (A.F.F. 25, 1923, 31 s.), V. T. AALTOSEN tutkimukset *Über den Aziditätsgrad* (p_H) *des Waldbodens* (M.K.J. 9, 1925. 33 s.+16 s. taul.) ja *Über die Umsetzungen der Stickstoffverbindungen im Waldboden* (M.K.J. 10, 1926. 48 s.+8 s. taul.), joiden tarkoituksena on päästä selvyyteen, mistä metsämaiden tuottokyky riippuu, sekä V. PESOLAN tutkimus *Kalsiumkarbonaatti kasvimaantieteellisenä tekijänä Suomessa* (Suom. Eläin- ja Kasvitiet. Seuran Vanamon Julk. 1926. Painettavana.). Kaikki nämä tutkimukset osoittavat metsätyyppien ja maaperän välisen korrelation varsin kiinteäksi vahvistaen siten puolestaan metsätyyppien soveltuvaisuutta kasvupaikkojen luokittelun perustaksi.

Metsämaiden huuhtoutumisilmiöitä selvittelevät O. J. LUKKALAN julkaisu *Lisä ortsteinikysymyksen valaisemiseksi* (A.F.F. 16, 1920. 13 s.) sekä V. T. AALTOSEN *Zur Kenntnis der Ausfällung des Eisens im Boden* (A.F.F. 25, 1923. 10 s.) ja *Versuche zur Klärung der Schutzwirkungen von wässerigen Humusauszügen* (A.F.F. 25, 1923. 18 s.). Nämä tutkimukset liittyvät niihin tutkimuksiin, joita B. FROSTERUS, B. AARNIO y.m. ovat suorittaneet Geologisen komissionin agrogeologisella osastolla (joka v:n 1926 alusta on erotettu Geologisesta komissionista maataloushallituksen alaiseksi agrogeologiseksi laitokseksi).

Maaperään kohdistuvat myös OLLI HEIKINHEIMON tutkimus *Metsänhävityksen ja polton vaikutuksesta metsämaahan* (A.F.F. 8, 1917. 28 s.) sekä V. T. AALTOSEN *Wasserverbrauch der Bäume und Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens* (A.F.F. 14, 1920. 24 s.).

P. KOKKONEN on julkaissut roudan rakennetta selvittelevän alustavan tutkimuksen *Beobachtungen über die Struktur des Bodenfrostes* (A.F.F. 30: 3, 1926. 56 s. + 17 kuvataulua.); erikoistutkimukset ovat vielä keskeneräiset.

Kotimaisten metsäpuiden biologiaa selvittelevät tutkimukset.

Kotimaisten metsäpuiden biologia, etenkin metsänhoidon kannalta niin tärkeä kysymys eri puulajien luonnollisesta uudistumisesta, on ollut useiden tutkimusten esineenä. Tutkimukset ovat kohdistuneet ennen

kaikkea Suomen pääpuulajeihin mäntyyn (*Pinus silvestris*) ja kuuseen (*Picea excelsa*). Männyn uudistumisvuosien kertautumista ovat tutkineet August Renvall pohjoisella metsänrajalla, O. J. Lakari Pohjois-Suomessa ja Lauri Ilvessalo Keski- ja Etelä-Suomessa. Tutkimusten tuloksina ovat ilmestyneet julkaisut *Die periodischen Erscheinungen der Reproduktion der Kiefer an der polaren Waldgrenze* (A.F.F. 1, 1912. 154 s. + kartta.), *Studien über die Samenjahre und Altersklassenverhältnisse der Kiefernwälder auf dem nordfinnischen Heideboden* (A.F.F. 5, 1915. 198 s. +13 s. liitt., 5 kuvataulua ja kartta.) ja *Tutkimuksia mäntymetsien uudistumisvuosista Etelä- ja Keski-Suomessa* (A.F.F. 6, 1917. 39 s.+43 s. liitt., 4 taul. ja kartta.). Niistä selviää, että männyllä on runsaita uudistumisvuosia metsänrajalla vain kerran vuosisadassa, Pohjois-Suomessa keskim. joka 10. vuosi ja Etelä- ja Keski-Suomessa keskim. joka 6. vuosi (runsaita tai runsaanlaisia keskim. joka $2\,^1/_2$ vuosi). I. Lassila selvittelee julkaisussaan *Tutkimuksia mäntymetsien synnystä ja kehityksestä pohjoisen napapiirin pohjoispuolella* (A.F.F. 14, 1920. 95 s.+graaf. taulu.) pohjoisten mäntymetsien luonnollisen uudistumisen edellytyksiä ja syitä männyn uudistumisvuosien sikermäisyyteen. Pohjoisiin mäntymetsiin kohdistuu myös V. T. Aaltosen tutkimus *Kangasmetsien luonnollisesta uudistumisesta Suomen Lapissa* (M.K.J. 1, 1919. 319 s.+16 kuvataulua ja 12 karttaa.), jossa selvitellään männyn taimistojen syntyä ja kehitystä. Pohjois-Suomen kuusimetsien uudistumissuhteita on tutkinut Olli Heikinheimo. Tutkimuksen tulokset sisältyvät julkaisuun *Pohjois-Suomen kuusimetsien hoito* (kts. s. 34). Kuusen uudistumissuhteita Etelä- ja Keski-Suomessa käsittelee O. J. Lakarin julkaisu *Tutkimuksia kuusimetsien uudistumisvuosista Etelä- ja Keski-Suomessa* (M.K.J. 4, 1921. 54 s.+9 graaf. liitettä.). Julkaisusta käy selville, että kuusella Suomen etelä- ja keskiosissa on runsaita tai runsaanlaisia uudistumisvuosia keskimäärin joka 3—5. vuosi. Sekä männyllä että kuusella ovat kuivat ja lämpimät kesät (tai keväät) kutakuinkin säännöllisesti aiheuttaneet seuraavana vuonna runsaan kukkimisen, jota vuorostaan myöhemmin on seurannut runsas siemententeko ja hyvä uudistumisvuosi.

Kotimaisten puulajien kasvullista uudistumista on tutkinut varsinkin Olli Heikinheimo. Näiden tutkimusten tulokset sisältyvät (sivutulok-

sina) julkaisuihin *Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin* (kts. s. 33) ja *Pohjois-Suomen kuusimetsien hoito* (kts. s. 34).

MARTTI HERTZ on julkaissut niinipuun (*Tilia cordata*) suvullista ja kasvullista uudistumista selvittelevän tutkimuksen *Niinipuun uudistumisesta Suomessa* (A.F.F. 29: 5, 1925. 101 s. + 5 kuvataulua ja 2 karttaa.), jossa myös selvitellään niinipuun biologiaa yleensäkin sekä niinipuun levenemistä ja esiintymistä Suomessa.

Jo monen vuosikymmenen aikana on Suomessa eri osissa maata tehty fenologisia havaintoja. Täten kertyneen havaintoaineiston nojalla on VILJO KUJALA julkaissut tutkimuksen *Laskelmia lehtipuiden lehtikauden pituudesta ja puiden kukkimisajoista Suomessa* (M.K.J. 7, 1924. 16 s. + 26 s. taulukkoja.).

Edellä (s. 9) on jo mainittu A. G. BLOMQVISTin mänty- ja kuusimonografiat. A. K. CAJANDERin suuressa dendrologian käsikirjassa *Metsänhoidon perusteet: II. Suomen dendrologian pääpiirteet* (Porvoo 1917. 652 s.) on etenkin tärkeämmistä kotimaisista puulajeista laajahkot kuvaukset, jotka sisältävät myös tekijän omia havaintoja niiden biologiasta. Tervalepästä on VILJO KUJALA julkaissut laajan tutkimuksen *Tervaleppä* (*Alnus glutinosa* (*L.*) *Gaertn.*) *Suomessa* (M.K.J. 7, 1924. 272 s.+8 kuvataulua ja kartta.), tammesta (*Quercus pedunculata*) ARTUR THESLEFF tutkielman *Eken i Östra Finland* (F.F.M. 12, 1895, s. 99—186+2 kuvaa ja kartta) ja SULO LINKO pienemmän kuvauksen *Tammen leveneminen Maarian, Raision, Kaarinan ja Paraisten pitäjissä* (Erikoistutk. 1, 1914. 38 s.+4 kuvataulua ja kartta.).

HJALMAR HJELTin ja R. HULTin julkaisuista on jo mainittu (s. 11).

Kotimaisten metsäpuiden biolologiaa selvitteleviin tutkimuksiin voidaan suurelta osalta lukea myös eräät otsakkeen »Metsikön kasvua, kehitystä ja rakennetta koskevat tutkimukset» alla mainitut julkaisut.

Juuristotutkimukset.

Vaikka juuristolla on mitä tärkein merkitys puiden elintoiminnalle on biologis-metsänhoidollisissa tutkimuksissa puiden juuristoihin kiinnitetty paljon vähemmän huomiota kuin maanpäällisiin osiin, nähtävästi pääasiassa syystä, että juuristojen tutkiminen yleensä on sangen vaivalloinen

tehtävä. Suomessakin on juuristotutkimuksia ryhdytty toimittamaan vasta viime vuosina. Niitä on suoritettu osaksi erikoistutkimuksina, osaksi muiden tutkimusten (metsänuudistumis- sekä suotutkimusten) yhteydessä. Toistaiseksi on niiden tuloksia vasta vähän julkaistu; keskeneräisiä ovat vielä m.m. eräät männyn ja kuusen juuristoja koskevat erikoistutkimukset. Osa tutkimuksista käsittelee puiden juuristojen rakennetta ja kehitystä, osa puiden välistä juuristokilpailua.

Juuristokilpailuun kiinnitti Suomessa V. T. Aaltonen ensimmäiseksi huomiota edellä (s. 29) mainitussa Lapin kangasmetsien uudistumista selvittelevässä tutkimuksessaan. Lähemmin hän käsittelee samaa seikkaa edellisen tutkimuksen yhteydessä kerättyyn aineistoon perustuvassa tutkimuksessaan *Über die Ausbreitung und den Reichtum der Baumwurzeln in den Heidewäldern Lapplands* (A.F.F. 14, 1920. 55 s.). Lisäksi hän on kokeellisestikin koettanut saada juuristokilpailua valaistuksi toimittamalla astia- ja kenttäviljelyskokeita maissilla. Näiden kokeiden tuloksia hän selvittelee julkaisussaan *Über die räumliche Ordnung der Pflanzen auf dem Felde und im Walde* (A.F.F. 25, 1923. 85 s.).

Olli Heikinheimo on julkaissut tutkimuksen *Kuusen iän määräämisestä ja kuusen myöhäisjuurista* (M.K.J. 2, 1920, 31 s.; hänen myrskyn tuhoja Raivolan lehtikuusimetsässä koskevaan julkaisuunsa (kts. s. 35) sisältyy myös havaintoja lehtikuusen juurisysteemistä. P. Kokkonen ja S. E. Multamäki ovat suometsien kasvua koskevien tutkimustensa yhteydessä tehneet havaintoja männyn juurisysteemistä ojitetuilla ja ojittamattomilla soilla (kts. s. 40).

Perinnöllisyystutkimukset.

(Lajien synty, provenienssi ja n. s. pikku muodot.)

Suuressa teoksessaan *Metsänhoidon perusteet: I. Kasvibiologian ja kasvimaantieteen pääpiirteet* (Porvoo 1916. 735 s.+kartta.) on A.K. Cajander kasvillisuuden historiaa selvitellessään kehittänyt käsitystä lajien synnystä ja provenienssista esittäen itsenäisiä ajatuksia, jotka sittemmin ovat julkaistut myös erillisenä julkaisuna nimellä *Einige Reflexionen über die Entstehung der Arten insbesondere innerhalb der Gruppe der Holzgewächse* (A.F.F. 21, 1921. 12 s.). — Olli Heikinheimo on tutkinut

käpyjen ja oksien eroavaisuuksiin perustuvia kuusimuotoja ja niiden metsätaloudellista arvoa. Tutkimustensa tuloksista hän tekee selkoa julkaisussaan *Kuusimuodoista ja niiden metsätaloudellisesta arvosta* (M.K.J. 2, 1920. 102 s.+12 kuvataulua.). Jo aikaisemmin oli A. OSW. KAIRAMO Kuolan niemimaata koskevassa kasvibiologisessa tutkimuksessaan (ks. s. 11) käsitellyt m.m. käpyjen perusteella erotettavia kuusimuotoja.

Metsätieteellisellä Koelaitoksella suoritetaan parhaillaan erinäisiä puiden ominaisuuksien perinnöllisyyteen kohdistuvia kokeellisia tutkimuksia.

Ulkomaalaisten puulajien viljeleminen.

Ulkomaalaisten puulajien viljelemisen teoreettisia perusteita on Suomessa A. K. CAJANDER perustavasti selvitellyt. Edellä mainitun teoksensa *Metsänhoidon perusteet* II osassa hän esittää yleiset suuntaviivat ulkomaalaisten puulajien viljelemiselle Suomessa, osoittaen millä edellytyksillä puulajien viljeleminen niiden luonnollisten levenemisalueiden ulkopuolella yleensä on mahdollinen sekä millä alueilla maapallolla tavataan Suomea ilmastollisesti vastaavia seutuja, joista puulajeja viljelyskokeita varten voidaan hankkia. Teoksen I osassa hän on W. KÖPPENin ilmastojaoituksesta kehittänyt ilmastojaoituksen, joka hyvin soveltuu pohjaksi ilmastojen vertailulle. Tämä ilmastojaoitus on julkaistu myös (hieman lyhennettynä) erillisenä julkaisuna nimellä *Zur Frage der gegenseitigen Beziehungen zwischen Klima, Boden und Vegetation* (A.F.F. 21, 1921. 32 s.). Ulkomaalaisten puulajien viljelemisen yleisiä perusteita käsittelee myös CAJANDERin vähäisempi julkaisu *Der Anbau ausländischer Holzarten als forstliches und pflanzengeographisches Problem* (A.F.F. 24, 1923. 15 s.). Eri osissa Eurooppaa ulkomaalaisilla puulajeilla toimitettujen viljelyskokeiden tuloksien nojalla LAURI ILVESSALO julkaisussaan *Ulkomaalaisten puulajien viljelemismahdollisuudet Suomen oloja silmälläpitäen* (A.F.F. 17, 1920. 112 s.+kartta.) osoittaa ulkomaalaisten puulajien viljelemisen onnistumisen läheisen riippuvaisuuden puulajin kotiseudun ja viljelysseudun (tai tarkemmin sanoen viljelyspaikan) ilmastojen yhtäläisyydestä sekä siementen provenienssin (puulajien maantieteellisten rotujen) tärkeän merkityksen ulkomaalaisten puulajien viljelemisessä.

A. F. Tigerstedt tekee julkaisussaan *Arboretum Mustila: I. Havupuut*[1] (A.F.F. 24, 1922. 231 s.+51 kuvataulua.) selkoa edellä (s. 22) mainittujen laajojen puulajiviljelyskokeiden tuloksista havupuiden suhteen. Fredr. Elfvingin julkaisuun *Vedväxterna i universitetets i Helsingfors botaniska trädgård* (Helsingfors 1913, virall. akateem. julkaisu. 54 s.+4 kuvataulua.) sisältyy myös tietoja useiden ulkomaalaisten metsäpuiden menestymisestä Helsingin yliopiston kasvitieteellisessä puutarhassa. Jo aikaisemmin (1897) oli Elfving eräässä Suomen viljelyskasveja koskevassa julkaisussaan esittänyt joitakuita lyhykäisiä tietoja muutamien ulkomaalaisten puulajien levenemisestä ja viihtymisestä puistopuina Suomessa.

Lauri Ilvessalo on myös julkaissut monografian *Lehtikuusenviljelys Suomessa* (Erikoistutk. 5, 1916. 108 s.+8 kuvataulua ja kartta.) sekä pohjoismaiden vanhinta ja huomattavinta ulkolaismetsää selvittelevän tutkimuksen *Raivolan lehtikuusimetsä* (M.K.J. 5, 1923. 72 s.+11 s. taulukkoja, 6 kuvataulua ja 8 karttaa.).

Metsänhoitomenetelmiin kohdistuvat tutkimukset.

Ei mikään inhimillisen kulttuurin muoto ole niin laajalti ja niin moninaisella tavalla vaikuttanut Suomen metsiin kuin kaskiviljelys. Vielä vuosisata sitten se oli hyvin yleinen, mutta viime vuosisadan jälkimmäisellä puoliskolla se alkoi peltoviljelyksen edistymisen ja puun arvon kohoamisen vaikutuksesta nopeasti hävitä; nykyään sitä tavataan enää vain Itä-Suomessa ja sielläkin harvinaisuutena. Kaskiviljelyksen yleisyyttä eri aikoina, kaskiviljelysmenetelmiä ja etenkin kaskiviljelyksen vaikutusta Suomen metsiin on Olli Heikinheimo tutkinut. Tutkimuksen tuloksia selvittelee hän laajassa julkaisussa *Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin* (A.F.F. 4, 1915. 264 s.+85 kuvaa, 4 karttaa ja 149 s. tilastollisia y.m. taulukkoja.). Uudempina aikoina on kaskiviljelystä ruvettu käyttämään metsänhoidon palvelukseen, nim. metsänuudistuksen apukeinona. Kaskiviljelyksen merkitystä etenkin juuri tässä suh-

[1] Ilmestynyt myös erillisenä julkaisuna nimellä Mustilan Kotikunnas: Kertomus kokeista ulkomaisilla puilla ja pensailla Mustilassa vuosina 1901—1921. I. Havupuut. Porvoo 1922.

teessa selvittelee THOM. CANNELIN julkaisussaan *Svedjebrukets betydelse för våra skogar, för land och folk* (Specialund. 9, 1917. 92 s.). E. WUORI ja LAURI ILVESSALO ovat tutkineet metsänviljelyskokeita koti- ja ulkomaalaisilla puulajeilla, joita Vesijaon valtionpuistossa on kaskiviljelystä apuna käyttäen tehty 1870-luvulta alkaen. Näiden tutkimusten tuloksina ovat julkaisut *Studien über die durch Brandkultur entstandenen Nadelholzbestände des Staatsforstes Vesijako* ja *Versuche mit ausländischen Holzarten im Staatsforst Vesijako* (A.F.F. 2, 1913. Edell. 12 s., jälkimm. 18 s.). — Puiden latvomisesta, joka sekin nykyään on siirtymässä menneisyyteen, on O. J. LUKKALA julkaissut pienen tutkimuksen *Lehdeksien tekotapa Lounais-Suomessa ja sen metsänhoidollinen merkitys* (A.F.F. 16, 1920. 18 s.+kuvaliite.).

Tutkielmassaan *Metsiemme uudistushakkaukset toisiinsa verrattuina* (Helsinki 1910. 52 s. Sisältyy »Maahenki»-teokseen, mutta ilm. myös erill.) esittää A. K. CAJANDER vertailevan kriitillisen katsauksen eri uudistushakkaustapoihin sekä tarkastaa niiden soveltuvaisuutta Suomen metsiin. Valtion virkataloilla jo usean vuosikymmenen ajan käytetyn lohkottaisen siemenpuuhakkauksen tuloksia selvittelee G. HJ. ENROTH julkaisussaan *Lohkohakkauksesta Suomen sotilasvirkataloilla* (Erikoistutk. 4, 1915. 106 s.). Lapin kuivien kankaiden mäntymetsien hoitoa ovat V. T. AALTONEN ja I. LASSILA käsitelleet edellä (s. 29) mainituissa julkaisuissaan ja Pohjois-Suomen kuusimetsien hoitoa OLLI HEIKINHEIMO julkaisussaan *Pohjois-Suomen kuusimetsien hoito* (M. K. J. 5, 1922. 123+III s.+9 kuvataulua.). O. J. LAKARI on tutkinut kuusen karsimisen vaikutusta kasvuun ja teknillisiin ominaisuuksiin; tulokset ovat julkaistut nimellä *Tutkimuksia kuusen karsimisesta* (M. K. J. 2, 1920. 38 s.+9 kuvataulua.).

Metsänhoitomenetelmien riippuvaisuutta metsätyypistä Keski-Euroopassa käsittelee A.K.CAJANDER edellä (s. 25) mainitussa teoksessaan *Ueber Waldtypen* (1909). V. T. AALTONEN on esittänyt omakohtaisiin havaintoihin perustuvan kriitillisen katsauksen *Über neuere forstliche Betriebsarten in Deutschland* (A. F. F. 25, 1944. 20 s. + kartta.).

Metsävahinkoja selvittelevät tutkimukset.

Kaskiviljelyksen rinnalla on kulovalkeilla ollut varsin huomattava vaikutus Suomen metsiin. Varhaisempina aikoina kulovalkeat saivat raivota miltei esteettömästi, kunnes itsestään sammuivat, mutta vielä nykyäänkin saavuttavat ne kuivina kesinä, varsinkin harvaan asutussa Pohjois-Suomessa, joskus suuren laajuuden aiheuttaen melkoisia taloudellisia vahinkoja. Kulovalkeiden vaikutusta Suomen metsien puulajisuhteisiin kuvaa A. K. Cajander teoksessaan *Metsänhoidon perusteet I.* (s. 691—698.). Viljo Kujala on vast'ikään julkaissut tutkimuksen *Untersuchungen über den Einfluss von Waldbränden auf die Vegetation in Nordfinnland* (M.K.J. 10, 1926. 37 s.+2 kuvataulua; suom. sel. 4 s.). Kulovalkeiden syttymisen syitä, kulovalkeiden esiintymistä (lukumäärää, laajuutta ja rahallisia vahinkoja) eri vuosina sekä erilaatuisilla mailla ja erilaatuisissa metsissä ja sääsuhteiden vaikutusta kulovalkeiden esiintymiseen selvittelee Eino Saaren tilastollinen tutkimus *Kuloista, etupäässä Suomen valtionmetsiä silmällä pitäen* (A.F.F. 26, 1923. 142 s.). Jo aikaisemmin oli Onni Lönnroth julkaissut samaa aihetta koskevan pienemmän tutkimuksen *Kulovalkeat kruununmetsissä* (S.My.J. 1913, s. 523—535 + diagr. liite). Sekä kulojen aiheuttamia tuhoja että käytännöllisiä toimenpiteitä niiden vastustamiseksi käsittelee laajasti hallituksen v. 1924 asettama kulokomitea äskettäin valmistuneessa mietinnössään.

Myrskyvahinkoja on tutkinut varsinkin A. J. Bonsdorff. Tutkimusten tuloksena ovat julkaisut *Studien über die Sturmrichtungen in Finnland* ja *Beiträge zur Kenntnis der Sturmschäden in Finnland* (A.F.F. 8, 1917 ja 1918. Edell. 105 s. + 8 karttaa, jälkimm. 55 s. + 1 kuvataulu, 1 diagr. ja 3 karttaa.). Olli Heikinheimolta on vast'ikään valmistunut tutkimus *Myrskyn tuhoista Raivolan lehtikuusimetsässä syyskuun 23 p:nä 1924* (M.K.J., 1926. Painettavana.).

A. K. Cajanderin kiinnitettyä eräässä esitelmässään Metsätieteellisessä Seurassa v. 1916 [1] huomiota Pohjois-Suomen itäosien metsissä

[1] Esitelmän selostus sisältyy julkaisuun Suomen Metsätieteellisen Seuran toiminta v. 1909—1917. (A.F.F. 7, 1917. S. 214—217).

tavallisiin lumituhoihin on OLLI HEIKINHEIMO niitä seikkaperäisesti tutkinut. Julkaisussaan *Suomen lumituhoalueet ja niiden metsät* (M.K.J. 3, 1920. 134 s.+ 16 kuvataulua.) hän selvittelee lumituhojen esiintymisalueen laajuutta sekä syitä lumituhoihin ja lumen aiheuttamien tuhojen laatua. V. T. AALTONEN on edellä (s. 29) mainitussa Lapin kangasmetsien uudistumista koskevassa tutkimuksessaan kosketellut paitsi lumen painon myös maan routimisen taimistoille aikaansaamia vaurioita.

Lentohiekkavaaraa ja sen torjumismahdollisuuksia selvittelee LAURI ILVESSALON tutkimus *Suomenlahden ulkosaarten lentohietiköt ja niiden sitomismahdollisuudet* (M.K.J. 1926. Painettavana.).

Hyönteisvahinkoja on varsinkin UUNIO SAALAS tutkinut. Hänen mainittavimmat julkaisunsa ovat *Die Fichtenkäfer Finnlands: Studien über die Entwicklungsstadien, Lebensweise und geographische Verbreitung der an Picea excelsa Link. lebenden Coleopteren nebst einer Larvenbestimmungstabelle I—II* (Suomal. Tiedeakat. Toimituksia, sarja A: VIII, N:o 1, 1917 ja XXII, N:o 1, 1923. Edell. XXII+547 s.+9 kuvataulua ja kartta, jälkimm. X+746 s.+28 kuvataulua.) ja *Kaarnakuoriaisista ja niiden aiheuttamista vahingoista Suomen metsissä* (A.F.F. 10, 1919. 374 s. +13 kuvataulua ja 2 karttaa.). K.O. ELFVING on julkaissut tutkielman *Sjukdomar och sjukdomsorsaker i skogskulturer* (S.My.J. 22, 1905, s. 82—123+11 s. liitt.), jossa selvitellään paitsi hyönteis- myös sienituhoja.

ARTUR THESLEFF on tutkinut *Basidiomycetes*-(kantasienet)-luokkaan kuuluvien metsän tuhosienten esiintymistä. Hänen mainittavimmat julkaisunsa ovat *Något om parasitiska och på vedväxter förekommande Basidiomyceter* (F.F.M. 11, 1893, s. 105—127), johon sisältyy myös luettelo Suomen metsäpuiden ja -pensaiden kantasienistä, sekä *Studier öfver basidsvampfloran i sydöstra Finland med hänsyn till dess sammansättning, fysiognomi, fenologi och ekologi* (Bidrag till kännedom af Finlands natur och folk 79: 1, 1919. 140 s.). J. I. LIRON (LINDROTH) metsän tuhosieniin kohdistuvista julkaisuista ovat huomattavimmat *Beiträge zur Kenntnis der Zersetzungserscheinungen des Birkenholzes* (Naturwissensch. Zeitschr. für Land- und Forstwirtschaft 2, 1904, s. 393—406) sekä *Kulturversuche mit finnischen Rostpilzen I—II* (A. S. F. F. F. 29: 6—7, 1906—1907. 25+58 s.) ja *Uredineae Fennicae, Finlands Rostsvampar*

(Bidr. till känn. af Finl. natur och folk 65, 1908. 642 s.). — Sivutuloksina on havaintoja hyönteis- tai sienituhoista julkaistu useissa tutkimuksissa, etenkin metsänhoidollisissa.

Laiduntamistutkimukset.

Suomessa on metsän käyttö laitumena vielä nykyäänkin hyvin yleistä, joskin siirtyminen keinotekoisiin nurmilaitumiin on useilla seuduilla jo tapahtumassa. On näin ollen luonnollista, että on eksakteilla tutkimuksilla pyritty selvittelemään laiduntamisen vaikutusta metsiin. Kotieläinten (hevosten, lehmien, lampaiden ja vuohien) vaikutusta metsiin on tutkinut S. E. Multamäki. Tutkimuksen tuloksista hän tekee selkoa julkaisussaan *Metsälaiduntamisesta ja hakamaiden hoidosta* (Erikoistutk. 7, 1916. 92 s.). Myös A. Palmgrenin edellä (s. 26) mainittuun julkaisuun *Studier öfver löfängsområdena på Åland: I. Vegetationen* sisältyy havaintoja laiduntamisen vaikutuksesta metsiin, m.m. kuusen valtaanpääsyyn Ahvenanmaan lehtoalueilla.

Pohjois-Suomessa, varsinkin Lapissa, on poronhoito vielä verraten yleinen. Porojen vaikutusta metsiin ovat tutkineet etenkin August Renvall ja V. T. Aaltonen. Renvallin tutkimusten tulokset sisältyvät alempana mainittuun julkaisuun *Suojametsäkysymyksestä*, Aaltosen edellä usein mainittuun Lapin kuivien kangasmetsien uudistumista käsittelevään julkaisuun. Aikaisemmin ovat tähän kysymykseen huomiota kiinnittäneet myös Einar Reuter (useissa kirjoitelmissa S. My. J:ssa) sekä hallituksen v. 1911 asettama porolaidunkomisioni v. 1914 ilmestyneessä mietinnössään.

Suojametsäkysymys.

Suojametsäkysymystä, jolla Suomen pohjoisissa osissa on hyvin tärkeä merkitys sekä metsätalouden että maatalouden ja koko asutuksenkin kannalta, ovat tutkineet August Renvall ja Olli Heikinheimo, aikaisemmin myös H. R. Sandberg sekä hallituksen v. 1907 asettama n.k. suojametsäkomisioni. Sandberg on julkaissut tutkimustensa tulokset nimellä *Reseberättelse afgifven på grund af en med statsanslag ... företagen forstlig studieresa till Inari, Utsjoki och Enontekis lappmarker* (F.F.M.

15, 1898, s. 133—203 ynnä 11 kuvataulua ja kartta.). Suojametsäkomision mietintö ilmestyi v. 1910. RENVALL on julkaissut laajan tutkimuksen *Suojametsäkysymyksestä I—VI* (A.F.F. 11, 1919. 654 s.), jossa esitetään suuntaviivat suojametsäkysymyksen järjestelylle sekä Perä-Lapin suojametsätalouden pääperusteet. I osassa käsitellään mäntymetsän elinehtoja sen pohjoisrajalla sekä tämän rajan alenemisen syitä, II suojametsäjärjestelmän tarkoitusperiä ja edellytyksiä, III metsän suojelemista kuloilta, IV poronlaidunnan järjestelyä suojametsäalueella, V metsänhoidon pääperusteita varsinaisella metsänrajavyöhykkeellä ja VI asutusolojen järjestelyä mäntymetsärajaseudulla. Vähäistä myöhemmin ilmestyi HEIKINHEIMON tutkimus *Suomen metsärajametsät ja niiden vastainen käyttö* (M.K.J. 4, 1921. 71 s.+7 kuvataulua.).

Suotutkimukset.

Suotutkimuksia on Suomessa toimitettu suhteellisen runsaasti. Tämä seikka saa luonnollisen selityksensä siitä, että soiden osuus Suomen koko maa-alasta on varsin suuri (34.6 %); ne muodostavat huomattavan maisemallisen tekijän samalla kuin niillä myös on melkoinen taloudellinen merkitys. Aikaisemmin on Suomen soita tutkittu sangen vähän, joten on ollut tarpeen toimittaa paljon perustavia tutkimuksia, vallankin koska pohjoismaiset suot suuresti eroavat keskieurooppalaisista.

Suomen suotutkimuksen perustan on lähinnä J. P. NORRLINin tutkimuksiin (kts. s. 10) liittyen luonut A. K. CAJANDER teoksellaan *Studien über die Moore Finnlands* (A.F.F. 2, 1913. 208 s.+20 kuvataulua, 1 diagr. ja 4 karttaa.)[1] Tällä teoksella on Suomen suotutkimukselle sama merkitys kuin saman tekijän teoksella Ueber Waldtypen (1909) varsinaiselle metsätutkimukselle. Teoksen yleisessä osassa kuvataan soiden synty ja kehitys sekä erilaiset suokompleksit, erikoisosassa esitetään perusteellinen systemaattinen katsaus Suomen suotyyppeihin. Suotutkimuksessa ovat CAJANDERin erottamat suotyypit tulleet yleiseen käytäntöön, mutta myöskin käytännössä, soiden kuivatuksessa, ne ovat saaneet suuren merkityksen.

[1] Jo aikaisemminkin oli CAJANDER julkaissut soita koskevia tutkimuksia, mutta tässä teoksessa ovat hänen laajat suotutkimuksensa kootut ehyeksi kokonaisuudeksi.

Soiden syntyä ja kehitystä ovat tutkineet myös CAJANDERin oppilaat A. L. BACKMAN, VÄINÖ AUER ja VILJO KUJALA. Tutkimukset ovat suoritetut Pohjois-Suomessa, jossa, etenkin Pohjanmaalla, soistuminen, kuten tunnettua, on hyvin yleistä ja pitkälle edistynyttä. BACKMAN osoittaa julkaisussaan *Torvmarksundersökningar i mellersta Österbotten* (A.F.F. 12, 1920. 190 s.+3 taulua ja kartta.), että vähintään 95 % Keski-Pohjanmaan suoalasta on syntynyt metsämaan soistumisen johdosta. AUER on julkaissut: *Piirteitä Keski-Pohjanmaan soistumistavoista* (M.K.J. 3, 1921. 71 s.+2 kuvataulua.), *Zur Kenntnis der Stratigraphie der mittelösterbottnischen Moore* (A.F.F. 18, 1921. 40 s.+2 kuvataulua.), *Tutkimuksia Lapin tulvamailta* (M.K.J. 4, 1921. 72 s.) ja *Suotutkimuksia Kuusamon ja Kuolajärven vaara-alueilta* (M.K.J. 6, 1922. 257 s.+10 kuvataulua ja 4 liitettä.); viimemainittu on sangen laaja ja monipuolinen tutkimus. KUJALAlta on ilmestynyt pienempi tutkimus *Keski-Pohjanmaan soiden synnystä* (M.K.J. 8, 1924. 15 s.).

Eräät ylempänä mainituista AUERin tutkimuksista koskettelevat myös soiden pintamorfologiaa. Tätä aihetta erikoisesti käsittelee hän julkaisussaan *Über die Entstehung der Stränge auf den Torfmooren* (A.F.F. 12, 1920. 145 s.+7 taulua ja 1 liite.). Jo aikaisemmin oli ANTTI TANTTU julkaissut pienemmän tutkimuksen *Ueber die Entstehung der Bülten und Stränge der Moore* (A.F.F. 4, 1915. 24 s.). — Suotyypin ja soiden pintaturpeen välistä suhdetta selvittelee O. J. LUKKALA tutkimuksessaan *Studien über das Verhältnis zwischen dem Moortypus und dem Oberflächentorf der Moore* (A.F.F. 16, 1920. 21 s.). H. WARÉN selvittelee julkaisussaan *Untersuchungen über die botanische Entwicklung der Moore mit Berücksichtigung der chemischen Zusammensetzung des Torfes* (Suomen Suoviljelysyhdistyksen tieteellisiä julkaisuja 5, 1924. 91 s.+4 s. taulukkoja.) suoturpeen kasvitieteellisen ja kemiallisen kokoumuksen suhdetta.

Soissa tavattavia kantokerroksia käsittelevät O. J. LUKKALAn julkaisu *Tutkimuksia soiden kantokerroksista* (A.F.F. 16, 1920. 72 s.+3 kuvataulua.) sekä eräät AUERin ylempänä mainituista julkaisuista.

Erittäin tärkeän merkityksen suot ovat saaneet postglasialisen kronologian palveluksessa. Alulle pani tutkimustyön tällä alalla Suomessa RAFAEL HERLIN teoksellaan *Paläontologisk-växtgeografiska studier i norra*

Satakunta (Vetensk. Meddel. af Geogr. Fören. i Finland 3, 1896, s. 117—216 ynnä 1 kuvataulu ja kartta); myöhemmin ovat tutkimuksia suorittaneet ruotsalainen G. ANDERSSON, H. LINDBERG ja VÄINÖ AUER. Huomattavin tutkimus on AUERin laaja Vanajaveden ja sen ympäristöjen kehitystä selvittelevä tutkimus, jonka tulokset ovat julkaistut kahtena julkaisuna: *Die postglaziale Geschichte des Vanajavesisees* (M.K.J. 8, 1924. 134 s.+10 kuvataulua ja 11 liitettä. Suomenkiel. selost. 22 s.) ja *Investigations of the ancient flora of Häme* (*Tavastland*) (M.K.J. 9, 1925. 33 s.+ 94 s. taul. ja luett. sekä 3 kartta- y.m. liitettä.). A. L. BACKMAN ja ASTRID CLEVE-EULER selvittelevät tutkimuksessaan *Die fossile Diatomeenflora in Österbotten* (A.F.F. 22, 1922. 74 s.+1 kuvataulu ja 18 taulukkoa.) Pohjanmaan fossiilisia piilevä(*Diatomeae*)löytöjä sekä niiden nojalla Litorina-meren rajaa Pohjanmaalla.

Käytännöllisen metsätalouden kannalta varsin tärkeä tutkimusaihe on soiden kuivattaminen ja metsittäminen. Tätä ovat tutkineet etenkin ANTTI TANTTU ja S. E. MULTAMÄKI. TANTTU osoittaa, selvittelemällä mitä suotyyppiä mikin ojitettu suo luonnontilassaan on edustanut, julkaisussaan *Tutkimuksia ojitettujen soiden metsittymisestä* (A.F.F. 5, 1915. 211 s.+14 kuvataulua, 2 liitettä ja 2 karttaa.), että kukin suotyyppi kuivattamisen vaikutuksesta muuttuu — jos kuivatus on perusteellinen — määrätyksi metsätyypiksi. Suotyypin nojalla voidaan siis päätellä, mitenkä tuottoisaa metsämaata suosta kuivattamalla saadaan. S. E. MULTAMÄKI käsittelee julkaisussaan *Suomen soista ja niiden metsittämisestä* (A.F.F. 16, 1920. 83 s.+ liite ja kartta.) varsinkin erilaisten soiden ojituskelpoisuutta metsänkasvua varten sekä soiden kuivattamisen ja metsittämisen kansantaloudellista merkitystä. Hänen julkaisustaan *Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden metsänkasvusta* (A.F.F. 27, 1923. 107 s.+14 kuvataulua ja 9 liitettä.) käy selville, että sikäli kuin suotyypit pintakasvillisuuden puolesta ovat rinnastettavissa varsinaisiin metsätyyppeihin vastaavat ne jälkimmäisiä myös metsänkasvunsa puolesta. Samaan julkaisuun sisältyy useita havaintoja männyn juuristomuodosta soilla ja ojituksen vaikutuksesta siihen. Tätä aihetta käsittelee myös P. KOKKOSEN tutkimus *Beobachtungen über das Wurzelsystem der Kiefer in Moorböden* (A.F.F. 25, 1923. 20 s.+ kuvataulu.). Tärkeätä

ojitusteknillistä kysymystä selvittelee Kokkonen julkaisussaan *Tutkimuksia viemärien kuntoon vaikuttavista seikoista* (A.F.F. 27, 1923. 184 s. +16 kuvataulua.).

Theodor Homénin tutkimus *Våra skogar och vår vattenhushållning* (Helsingfors 1917. 290 s.+11 diagr. y.m. liitettä.), joka käsittelee veden kiertokulkua luonnossa, valaisee myös soiden osaa tässä kiertokulussa sekä erikoisesti soiden kuivattamisen vaikutusta siihen.

Suotutkimuksen alaan kuuluvien julkaisujen ryhmässä on lopuksi vielä mainittava Väinö Auerin katsaus *Eräitä vastaisia tehtäviä suotutkimuksen alalla Suomessa* (M.K.J. 8, 1924. 28 s.).

2. Metsätaksatooriset ja metsäpoliittiset tutkimukset.

Suomessa suoritetut metsätaksatooriset ja -poliittiset tutkimukset ovat liikkuneet seuraavien aiheiden piirissä: puiden muoto, metsikköjen kasvu, kehitys ja rakenne, metsävarat ja metsätalouden yleiset edellytykset, metsien kulutus sekä metsien kasvun ja kulutuksen välinen suhde (metsäbilanssi), metsätalous eri omistajaryhmien piirissä, puunjalostusteollisuus ja puunjalostusyhtiöt, metsäntuotteiden vienti sekä metsäntuotteiden vientitullit, puun hintojen kehittyminen, metsälainsäädäntö, viljavan maa-alan jakaantuminen Suomessa ja sen eri osissa, asutusolot ja asutuspolitiikka sekä valtion maanluovutuspolitiikka.

Matemaattis-tilastollisten menettelytapojen soveltaminen metsätieteeseen.

Metsätaksatooriset ja -poliittiset tutkimukset pohjaavat sangen olennaisesti tilastotyöhön, etenkin n.s. edustavaan tilastoon. Luotettavien tulosten saavuttamiseksi on sen vuoksi useasti välttämätöntä käyttää apuna matemaattis-tilastollisia menettelytapoja, joita viime aikoina on suuresti kehitetty. Suomessa suoritetuille metsätaksatoorisille ja -poliittisille tutkimuksille onkin hyvin olennaisena piirteenä tutkimusaineiston matemaattis-tilastollinen käsittely.

Matemaattis-tilastollisten menetelmien tarpeellisuuden metsätaksatoorisissa tutkimuksissa on Suomessa Werner Cajanus ensimmäisenä osoittanut. Esitelmässään kasvutaulujen laadintatavoista, jonka hän v.

1912 piti Metsätieteellisessä Seurassa[1], hän huomautti n.s. runkojakaantumissarjojen tärkeästä merkityksestä kasvutaulujen laadintatyössä. Luokittamalla metsikköjen puut paksuusluokkiin rinnankorkeusläpimitan mukaan saadaan metsiköille runkojakaantumis(frekvenssi)-sarjat, jotka voidaan riittävän tarkasti karakterisoida muutamalla helposti määrättävällä parametrilla (keskivahvuus, runkoluku, dispersio, asymetria ja eksessi). Koska tällaiset jakaantumissarjat sitäpaitsi määräävät metsikön kokonaiskuutiomäärän ynnä useat muut kasvutauluissa ilmaistavat tiedot, mikä kääntäen sitävastoin ei pidä paikkaansa, soveltuvat ne paremmin kuin kokonaiskuutiomäärät lähtökohdaksi kasvutauluja laadittaessa. Jakaantumissarjoissa kuvastuu myös herkemmin kuin kokonaiskuutiomäärässä eri hoitotapojen vaikutus metsikön kehitykseen, sillä metsiköillä, jotka ovat hoidetut eri tavalla, voi kyllä olla sama kuutiomäärä, mutta sama runkojakaantumissarja on vain (samanikäisillä ja biologisesti samanarvoisilla kasvupaikoilla kasvavilla) samalla tavalla hoidetuilla metsiköillä. Runkojakaantumissarjat tarjoovat siis erinomaisen johdon ratkaistaessa kysymystä, mitkä nuoremmat ja vanhemmat metsiköt kuuluvat samaan kehityssarjaan. Sitäpaitsi runkojakaantumissarjoja tutkimalla avautuu mahdollisuus selvitellä myös sekametsien ja eri-ikäisten metsikköjen kehitystä, joka pelkästään kuutiomääriä tarkastamalla ei ole mahdollista. — Näitä esitelmässään pääpiirtein koskettelemiaan seikkoja on CAJANUS syvällisemmin ja yksityiskohtaisemmin käsitellyt kahta vuotta myöhemmin julkaisemassaan, sveitsiläiseen havaintoaineistoon nojautuvassa teoksessa *Ueber die Entwicklung gleichaltriger Waldbestände, Eine statistische Studie I* (A.F.F. 3, 1914. 142 s.+12 graaf. taulua.). Tällä teoksella on Suomessa perustava merkitys matemaattis-tilastollisten menetelmien sovelluttamiselle metsätaksatoorisiin ja yleensä metsätieteellisiin tutkimuksiin.

Muutamia vuosia sen jälkeen kuin CAJANUKSEN teos oli ilmestynyt sai YRJÖ ILVESSALO Metsätieteelliseltä Seuralta tehtäväkseen kasvuja tuottotaulujen laatimisen Suomen pääpuulajeille. Tutkimusaineiston

[1] WERNER CAJANUS: *Kasvutaulujen laadintamenettely*. Sisältyy julkaisuun Suomen Metsätieteellisen Seuran toiminta v. 1909—1917. (A.F.F. 7, 1917. S. 75—77).

tultua kerätyksi käytettiin sen käsittelyssä CAJANUKSEN suosittamaa runkojakaantumissarjamenetelmää sekä yleensäkin matemaattis-tilastollisia menetelmiä ja saatiin kasvu- ja tuottotaulut siten mahdollisimman varmalle pohjalle. ERIK LÖNNROTH on luonnonmännikköjen rakennetta ja kehitystä tutkiessaan aineiston käsittelyssä niinikään turvautunut matemaattis-tilastollisiin menetelmiin.

Paitsi metsikön kehitystä, rakennetta ja kasvusuhteita selvittelevissä tutkimuksissa ovat matemaattis-tilastolliset menetelmät saanet tärkeän sijan *linja-arvioimisen* tuloksien tarkistamisessa. Linja-arvioimista on Suomessa käytetty jo monen vuosikymmenen ajan, mutta laajimman käytön se on saavuttanut vasta sen jälkeen kuin sen käyttökelpoisuus metsän arvioimiseen oli tullut tieteellisesti pätevällä tavalla osoitetuksi ja sovellettu matemaattis-tilastollisia menetelmiä tuloksien tarkistamiseen. V. 1912 toimeenpantiin Suomen Metsänhoitoyhdistys Tapion aloitteesta Sahalahden ja Kuhmalahden pitäjien metsien arvioiminen, jonka yhtenä tarkoituksena oli selvitellä linja-arvioimisen tarkkuutta ja soveltuvaisuutta laajempien alueiden metsävarojen inventoimiseen. Arvioiminen suoritettiin CAJANUKSEN johdolla, mutta aineiston valmistaminen joutui hänen v. 1919 kuoltua v. 1920 YRJÖ ILVESSALON tehtäväksi. Sillä välin oli ILVESSALO v. 1919 toimittanut vähäisemmän linja-arvioimisen tarkkuutta valaisevan tutkimuksen, jonka tulokset ovat julkaistut nimellä *Linja-arvioimisen tarkkuudesta* (sisältyy julkaisuun Suomen Metsätieteellisen Seuran toiminta v. 1917—1920, A.F.F. 14, 1920, s. 162—171). Tässä tutkimuksessa myös lyhyesti mainitaan niistä matemaattis-tilastollisista menetelmistä, joilla linja-arvioimisen tuloksia voidaan tarkistaa. Laajemmin esitetään ne ILVESSALON julkaisussa *Tutkimuksia yksityismetsien tilasta Hämeen läänin keskiosissa* (kts. alemp. s. 48). Linja-arvioimisen tarkkuutta selvittelee toimittamansa kokeen perusteella myös M. LAPPI-SEPPÄLÄ julkaisussaan *Linja-arvioimisesta ja sen tarkkuudesta* (M.K.J. 7, 1924. 48 s.).

Tutkimuksessaan *Über die Berechnung des Mittelfehlers des Resultates einer Linientaxierung* (A.F.F. 25, 1924. 22 s.) on J. W. LINDEBERG ottanut kriitillisesti tarkastettavakseen Suomessa ja ulkomailla käytetyt linja-arvioimisen matemaattis-tilastolliset tarkistamismenetelmät sekä esit-

tää uudet kaavat linja-arvioimisen tuloksien tarkistamista varten. Näitä uusimpia tarkistamismenetelmiä on sittemmin käytetty valtakunnan metsien linja-arvioimisessa (kts. s. 46), joka on laajin arvioimistyö, missä linja-arvioimista Suomessa on täytäntöön sovellettu.

Metsäpoliittisiin tutkimuksiin on matemaattis-tilastollisia menetelmiä Suomessa soveltanut varsinkin EINO SAARI tuonnempana mainittavissa julkaisuissaan.

Puiden muotoa koskevat tutkimukset.

Metsätieteellisessä Seurassa v. 1911 pitämässään esitelmässä, joka samana vuonna tuli julkaistuksi nimellä *Puunrungon muotoa koskevia tutkimusmetoodeja* (S. My. J. 1911, s. 363—370) selvitteli WERNER CAJANUS puun muototutkimuksia vaivaavia puutteellisuuksia sekä esitti uuden menetelmän puun muodon matemaattiseksi kuvaamiseksi. Tätä menetelmää on O. J. LAKARI sittemmin soveltanut käytäntöön tutkiessaan männyn muotoa. Tutkimuksen tulokset ovat julkaistut nimellä *Tutkimuksia männyn muodosta* (M.K.J. 3, 1920. ja A.F.F. 16, 1920. 30 s.).

Metsikköjen kasvua, kehitystä ja rakennetta koskevat tutkimukset.

Edellä (s. 42) on jo mainittu WERNER CAJANUKSEN tutkimus *Ueber die Entwicklung gleichaltriger Waldbestände*, jossa hän selvittelee tasaikäisten metsikköjen kehityksessä vallitsevia säännönmukaisuuksia.

A. K. CAJANDERin perustavaan teokseen Ueber Waldtypen (1909) läheisesti liittyy YRJÖ ILVESSALON julkaisu *Tutkimuksia metsätyyppien taksatoorisesta merkityksestä* (A.F.F. 15, 1920. 157 s.+51 s. taulukkoja, 51 graaf. taulua ja kartta.), jossa 467 metsikössä otetulla koealalla tehtyjen tutkimusten nojalla osoitetaan, että metsätyyppejä menestyksellisesti voidaan käyttää metsämaiden bonitoimiseen. Jo aikaisemmin oli ILVESSALO suppeammassa tutkimuksessaan *Mäntymetsikköjen valtapuitten kasvusta mustikka- ja kanervatyyppien kankailla Salmin kruununpuistossa* (A.F.F. 6, 1916. 58 s.+33 s. taulukkoja ja 4 s. graaf.

tauluja.) alustavasti vertaillut kasvusuhteita kahdella metsätyypillä.[1] Kun lopullisesti oli käynyt selville, että metsätyypit soveltuvat metsämaiden luokittelun perustaksi[2], julkaisi Ilvessalo *Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille* (A.F.F. 15, 1920. 94 s.), jotka ovat laaditut ylempänä mainituista 467 metsiköstä saadun aineiston nojalla. Vastaavista ulkomaalaisista nämä kasvutaulut eroavat periaatteellisesti kahdessa suhteessa, nim. ensinnäkin siinä, että niissä kaikilla puulajeilla on yhteiset boniteetit, joina on käytetty metsätyyppejä ja toiseksi siinä, että aineiston käsittelyssä on, kuten edellä jo on mainittu, apuna käytetty matemaattis-tilastollisia menetelmiä. Ilvessalon Kasvu- ja tuottotaulujen tarjooman aineiston nojalla selvittelee V. T. Aaltonen tutkimuksessaan *Metsikön itseharventumisesta ja puiden kasvutilasta luonnonmetsissä* (M.K.J. 9, 1925. 17 s.) metsikön itseharventumista ja puiden kasvutilaa luonnon männiköissä, kuusikoissa ja koivikoissa Suomen eteläpuoliskon tavallisimmilla metsätyypeillä. Samalta tekijältä on myös ilmestynyt tutkielma *Allgemeines über die Einwirkung der Bäume auf einander* (A.F.F. 29: 1, 1925. 19 s.).

Kasvutaulujen laatimiseksi Suomen pohjoispuoliskon metsille on O. J. Lakari laatinut ehdotuksen, joka on julkaistu nimellä *Ehdotus kasvutaulujen laatimiseksi Pohjois-Suomen metsiä varten* (A.F.F. 12, 1919. 9 s.). Alustavista kasvututkimuksista mainittakoon Lakarin *Tutkimuksia Pohjois-Suomen metsätyypeistä* (kts. edellä s. 26) ja *Tutkimuksia kuusen ja männyn kasvusuhteista Pohjois-Suomen paksusammaltyypillä* (M.K.J. 2, 1920. 165 s.). T. Heikkilä on tutkinut metsikköjen arvokasvuprosenttia muutamilla Pohjois-Suomen metsätyypeillä; tulokset ovat julkaistut nimellä *Kasvututkimuksia Perä-Pohjolasta* (A.F.F. 29, 1925. 31 s.).

---

[1] Varhaisemmin olivat pienempiä alustavia kasvututkimuksia suorittaneet Nils Thomé ja P. E. Minni sekä Gunnar Karlsson ja Jarl Silfverberg. (Tutkimustulokset ovat julkaistut S. My. J:ssa, Thomén ja Minnin S. My. J. 25, 1908, s. 109—134+taul., Karlssonin ja Silfverbergin S. My. J. 27, 1910, s. 187—219.)

[2] Vert. myös Yrjö Ilvessalo: *Die Waldtypen als Grundlage der neuen Ertragstafeln Finnlands.* Sisältyy s. 25 mainittuun Cajanderin ja Ilvessalon yhteiseen julkaisuun *Ueber Waldtypen II* (s. 42—63).

ERIK LÖNNROTH selvittelee julkaisussaan *Untersuchungen über die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger naturnormaler Kiefernbestände basiert auf Material aus der Südhälfte Finnlands* (A.F.F. 30: 1, 1925. 269 s.+60 graaf. taulua.), joka verrattavissa kohdissa antaa täyden vahvistuksen YRJÖ ILVESSALON metsätyyppien taksatoorista merkitystä koskeville tutkimuksille, luonnonmännikköjen rakennetta ja kehitystä Suomen eteläpuoliskon tavallisimmilla metsätyypeillä. Tätä aihetta käsitellessään tekijä erikoisesti tarkkaa GUNNAR SCHOTTEN puuluokituksen pohjalla omaperäisesti muodostelemiensa biologisten puuluokkien osuutta tutkimuksen alaisten metsikköjen rakenteessa ja kehityksessä. Tutkimuksessaan *Der stereometrische Bestandesmittelstamm* (A.F.F. 30: 2, 1926. 35 s.+4 graaf. taulua) LÖNNROTH tarkastaa kriitilliseti metsikön keskipuun laskemistapoja sekä kehittää uusia kaavayhdistelmiä metsikön keskipuun laskemista varten.[1]

Suometsien kasvua koskevista tutkimuksista on edellä jo mainittu suotutkimusten yhteydessä.

Puiden kasvun riippuvaisuutta sääsuhteista valaisee ERKKI LAITAKARIN julkaisu *Tutkimuksia sääsuhteiden vaikutuksesta männyn pituus- ja paksuuskasvuun* (A.F.F. 17, 1920. 53 s.+3 taulukkoliitettä ja 2 graaf. taulua.).

Metsävarat ja metsätalouden yleiset edellytykset.

Tiedot Suomen metsävaroista ovat olleet sangen puutteelliset aina siihen asti, kunnes vuosina 1922 ja 1923 suoritetun valtakunnan metsien linja-arvioimisen päätulokset tulivat julkisuuteen. Tämä Suomen metsätaloudelle erittäin tärkeä tutkimustyö sai alkunsa v. 1921, jolloin O. J. LAKARI hallituksen asettaman verokomitean aloitteesta toimitti sitä varten valmistavia tutkimuksia. Varsinainen arvioiminen suoritettiin kesä-

[1] LÖNNROTH on myös konstruoinut dendrometrin, joka soveltuu puiden sekä pituuden että vahvuuden mittaamiseen. (Kts. ERIK LÖNNROTH: *Ein Dendrometer.* A.F.F. 30, 1926. 14 s.+3 kuvataulua ja 3 taulukkoa.). Aikaisemmin ovat Suomesssa eri mallisia välillisiä puunmittauskoneita keksineet FABIAN LANGENSKJÖLD, J. H. A. AF FORSELLES, N. C. NORDENSKIÖLD, ROBERT MONTELL, H. H. HACKSTEDT, WERNER CAJANUS ja T. HEIKKILÄ. Myös puunmittauskaulaimia on keksitty useita eri malleja.

kausina 1922 ja 1923, valtionmetsissä metsähallituksen ja muissa metsissä metsätieteellisen koelaitoksen toimesta. Työn johdosta huolehti metsätieteellisen koelaitoksen arvioimisosaston professori Yrjö Ilvessalo. Jo v. 1924 voitiin julkaista kaksi suppeata katsausta tutkimustyön päätuloksiin: Yrjö Ilvessalon *Suomen metsät: metsävarat ja metsien tila* (M.K.J. 9, 1924. 40 s.+19 taulua. Ilmest. suomeksi, ruotsiksi, englanniksi ja ranskaksi.) ja Olli Heikinheimon *Suomen metsien metsänhoidollinen tila* (M.K.J. 9, 1924. 12 s.+6 taulua.). Laaja pääjulkaisu, jossa tulokset esitetään yksityiskohtaisemmin, on parhaillaan valmistumassa.

Arvioimisen tuloksista mainittakoon tässä muutamia tärkeimpiä tietoja.

Suomen metsäala on 25.26 milj. hehtaaria eli 73.5 % maan koko maa-alasta. Kutakin asukasta kohden on metsämaata keskim. 7.4 ha. Metsämaan kokonaisalasta omistaa valtio 39.8 %, seurakunnat 1.0 %, kunnat 0.7 %, yhtiöt 7.5 % ja yksityiset 51.0 %.

Eri puulajien kesken metsäala jakaantuu siten, että mäntyvaltaisia metsiä on 55.2 %, kuusivaltaisia 24.8 %, koivuvaltaisia 16.9 %, leppävaltaisia 1.5 % ja haapavaltaisia 0.2 %; aukeana on 1.4 %.

Metsien kokonaispuuvarasto on 1 620 milj. m^3. Kutakin metsämaan hehtaaria kohden puuvarasto on keskim. 64.3 m^3 ja kutakin asukasta kohden keskim. 476 m^3.

Metsien nykyinen vuotuinen kokonaiskasvu on 44.4 milj. m^3. Kutakin metsämaan hehtaaria kohden kasvu on keskim. 1.77 m^3 ja kutakin asukasta kohden 13.0 m^3.

Metsäisyys on erilainen eri osissa maata, samoin metsämaiden laatu sekä metsien puuvarasto ja kasvu sekä hehtaaria että asukasta kohden, varsinkin on suuri ero Suomen pohjois- ja eteläosien välillä.

Aikaisemmat Suomen metsävaroja selvittelevät tutkimukset kohdistuvat etupäässä metsien tilaan. Vanhin kuvaus Suomen metsistä ja metsätaloudesta on Edmund von Bergin *Die Wälder in Finnland* (Jahrbuch der kgl. sächs. Akademie zu Tharandt 13, 1859. 118 s.).[1] Sen jälkeen

[1] Vapaaherra v. Berg teki v. 1858 Suomen hallituksen kutsusta matkan Suomeen antaakseen lausunnon metsähallinnon organisatiosta. Suomessa hän teki laajan kiertomatkan tutustuen metsien tilaan eri osissa maata. Matkansa tuloksena hän jätti hallitukselle v. 1858 laajan lausunnon »Kertomus Suomenmaan metsistä», joka v. 1859 julkaistiin suomeksi, ruotsiksi ja saksaksi.

ovat useat hallituksen asettamat komiteat toimittaneet selvityksiä metsien tilasta. Tällaisista selvityksistä ovat mainittavat varsinkin n.s. valtionmetsäkomitean sekä n.s. yksityismetsäkomitean mietinnöt vuodelta 1900. Suomen Metsänhoitoyhdistys Tapion toimesta kerätyn tilastoaineiston pohjalla julkaisi A. BENJ. HELANDER 1910 Suomen yksityismetsien tilaa selvittelevän katsauksen *Maamme yksityismetsät* (Sisältyy Suomen Metsänhoitoyhdistys Tapion II vuosijulkaisuun 1909 sekä Suomen Kartastoon 1910. 19 s.+kartta.). Edellä (s. 43) on jo mainittu v. 1912 suoritetusta Sahalahden ja Kuhmalahden pitäjien metsien linja-arvioimisesta, jonka tuloksista tehdään selkoa YRJÖ ILVESSALON julkaisussa *Tutkimuksia yksityismetsien tilasta Hämeen läänin keskiosissa* (A.F.F. 26, 1923. 114 s.+23 s. taulukkoja ja diagr. sekä 2 karttaa.). V. 1917 toimittivat O. J. LUKKALA ja S. E. MULTAMÄKI tutkimuksia metsien tilasta Itä-Suomessa (Savossa ja Karjalassa). Tutkimusten tulokset on MULTAMÄKI julkaissut nimellä *Tutkimuksia metsien tilasta Savossa ja Karjalassa* (A.F.F. 9, 1919. 167 s.+9 taulukkoa, 11 kartogr. ja 2 karttaa.). Pienempiä katsauksia yksityismetsien tilaan ovat esittäneet WERNER CAJANUS ja RAGNAR SAXÉN, mutta sen jälkeen kuin valtakunnan metsien arvioimistyön päätulokset tulivat julkisuuteen, ei niillä enää ole käytännöllistä merkitystä.

OLLI HEIKINHEIMO on julkaissut tutkimuksen *Pohjois-Suomen kuusimetsien esiintyminen, laajuus ja puuvarastot* (M.K.J. 3, 1920 ja A.F.F. 15, 1920. 163 s.+kartta.), joka perustuu pääasiassa valtionmetsien metsätalousasiakirjoista kerättyihin tietoihin, mutta osaksi myös omiin havaintoihin.

Metsätalouden luonnollisiin edellytyksiin Suomessa esittää A. K. CAJANDER v. 1917 asetetun valtion metsäkomitean mietinnössä v. 1920 pääpiirteisen maantieteellisen katsauksen, joka myöhemmin on supistettuna julkaistu nimellä *Forstlich-geographische Übersicht Finnlands* (A.F.F. 25, 1923. 12 s.).

Metsien kulutus sekä kasvun ja kulutuksen välinen suhde.

Suomen metsien kulutuksen sekä kasvun ja kulutuksen välisen suhteen suuruudesta ovat sekä yksityishenkilöt että komiteat tehneet laskelmia. Useat niistä, varsinkin vanhemmat, ovat kuitenkin sangen yli-

malkaisia ja epävarmoihin alkutietoihin perustuvia. Vanhin laskelma on jo 1850-luvulta. Toiset laskelmat koskevat maata kokonaisuudessaan, toiset vain jotakin osaa.

Koko maata koskevista laskelmista on huomattavimpia Suomen Metsänhoitoyhdistyksen v. 1916 asettaman komitean laatima arvio metsien kasvun ja kulutuksen välisestä suhteesta (Mets. Aik. laaj. pain. 1916, s. 150—169). Tämä komitea arvioi metsien vuotuisen kasvun v. 1913 35.19 milj. m³:ksi ja kulutuksen 37.30 milj. m³:ksi, siis 2.11 milj. m³ kasvua isommaksi. Karl Strömberg ja Leo Krohn arvioivat julkaisussaan *Tilastollinen selostus polttoainekulutuksesta sekä puuaineen tarpeesta Suomessa* (Voima- ja Poltto-ainetaloudellisen Yhdistyksen julkaisuja 4, 1922. 12 s.+15 s. taul. Ilm. s. v. myös ruotsiksi: Mets. Aik. 1922, s. 253—275) rauhanaikaisen (maailmansodan jälkeisen ajan) vuotuisen kulutuksen 39 milj. m³:ksi. A. K. Cajander arvelee esitelmässään *Über das Verhältnis zwischen Waldzuwachs und Holzverbrauch in Finnland* (A.F.F. 25, 1923. 8 s.) kulutuksen tuskin nousevan mainittavasti 40 milj. m³ suuremmaksi. Koska metsien vuotuinen kasvu valtakunnan metsien arvioimistyön tuloksien mukaan on 44.4 milj. m³, niin näyttäisi kasvu ylittävän kulutuksen 4—5 milj. m³:llä. Kulutusarviot ovat kuitenkin useassa suhteessa (etenkin maalaisväestön kotitarvekulutuksen suhteen) epävarmalla pohjalla. Äskettäin onkin metsähallitus tehnyt hallitukselle esityksen, että metsätieteelliselle koelaitokselle annettaisiin toimeksi tehdä seikkaperäinen, kaikissa suhteissa luotettava tutkimus metsien kulutuksen suuruudesta. Tällainen tutkimus saataneekin lähi tulevaisuudessa aikaan.

Osaan maata kohdistuvia laskelmia ovat toimittaneet Yrjö Ilvessalo, Eino Saari ja M. Lappi-Seppälä. Ilvessalo esittää julkaisussaan *Metsämaitten puuntuotantokyvyn, nykyisen tuoton ja kulutuksen välisestä suhteesta* (A.F.F. 15, 1920. 8 s.) laskelman, joka kohdistuu Savoon ja Karjalaan. Saari on julkaissut pääasiassa itse keräämäänsä aineistoon perustuvan tutkimuksen *Kotitarvepuun kulutus maaseudulla Turun ja Porin läänissä* (M. K.J. 5, 1922. 171 s.). Tämä tutkimus eroaa varhaisemmista koti- ja ulkomaisista puun kulutusta koskevista tutkimuksista siinä, että käytetty aineisto on paljo runsaampi ja sen käsittely moni-

puolisempi, jotapaitsi käsittelyssä on sovellettu matemaattis-tilastollisia menetelmiä. Osaksi SAAREN tutkimukseen ja sitä eräissä kohdin täydentävään omaan tutkimusaineistoon, osaksi valtakunnan metsien arvioimistutkimukseen nojautuu LAPPI-SEPPÄLÄN julkaisu *Metsän kasvun ja hakkuun välisestä suhteesta sekä puunkulutuksesta ja metsämaitten tuottokyvystä Turun-Porin läänissä* (M.K.J. 9, 1925. 30 s.+ kartta.).

Eri omistajaryhmien metsätaloutta koskevat tutkimukset.

Suomen valtion metsätalous on P. W. HANNIKAISEN ja sitten A. K. CAJANDERin johtamana tämän vuosisadan aikana kehittynyt huomattavaksi tulolähteeksi valtiolle ja sen kautta saavuttanut tärkeän sijan valtion taloudessa. Valtion metsätalouden perusteita ovat varsinkin hallituksen vv. 1896 ja 1917 asettamat komiteat selvitelleet. A. K. CAJANDER on julkaissut tutkielman *Valtion metsätalous liikeyrityksenä* (A.F.F. 18, 1921. 38 s.), jossa selvitellään valtion metsätalouden liiketoiminnan yleisiä edellytyksiä, sen tähänastista kehitystä ja tuloksia sekä tulevaisuudenmahdollisuuksia. Erikoisesti valtion sahaustoimintaa ovat käsitelleet A. OSW. KAIRAMO ja ADOLF BURGMAN, edellinen kirjoituksessaan *Valtio puuteollisuuden harjoittajana* ja jälkimmäinen kirjoituksessaan *Valtion sahateollisuus*. (Kirjoitukset ovat julkaistut Yhteiskuntataloudellisessa Aikakauskirjassa v. 1925, edell. s. 118—141, jälkimm. s. 204—237). Valtion metsätalouden merkitystä ansiotyön antajana valaisee A. BENJ. HELANDERin tutkimus *Metsätalouden tarjoamasta ansiotyöstä: I. Kruununmetsät vv. 1911—1913* (A.F.F. 26, 1923. 104 s.+4 taulukkoliitettä.). AARNE BOMAN selvittelee tilastollisessa tutkielmassaan *Metsäkonduktöörit* (Erikoistutk. 10, 1919. 84 s.+33 s. taulukkoja.) valtion ylimääräisten metsänhoitajien asemaa ja toimintaa.

Metsähallitus julkaisee vuosittain virallisen tilastollisen katsauksen valtion metsätalouteen ja metsähallinnon toimintaan.

YRJÖ HARVIA on julkaissut tutkimuksen *Suomen kaupunkien metsät* (Erikoistutk. 6, 1916. 72 s.+25 s. taulukko- y.m. liitteitä.), jossa esitetään katsaus kaupunkien metsävaroihin ja metsätalouteen sekä kaupunkien metsien kunnallistaloudelliseen merkitykseen ja osoitetaan suuntaviivoja kaupunkien vastaiselle metsäpolitiikalle.

Maalaiskuntien metsänomistusta ja metsätaloutta valaisee Mauno Pekkalan tilastollinen selvitys *Maalaiskuntien maiden hankintaliike tilaston valossa* (Sisältyy julkaisuun Maatalousviikko Helsingissä 8—14 p:nä jouluk. 1920, s. 460—472. Painettu Porvoossa 1921.).

Julkaisussaan *Suomen yhteismetsät* (A. F. F. 1926. Painettavana.) Mauno Pekkala selvittelee yhteismetsien syntyä, hallintoa ja hoitoa sekä esittää tilastollisia tietoja yhteismetsistä.

Myöskin yksityismetsätalouden perusteista ovat useat hallituksen asettamat komiteat julkaisseet selvityksiä, joihin liittyy seikkaperäisiä ehdotuksia toimenpiteiksi yksityismetsätalouden kohottamiseksi. Vanhemmista tällaisista selvityksistä ovat mainittavat varsinkin hallituksen v. 1896 asettaman n.s. yksityismetsäkomitean mietinnöt v:lta 1898 ja 1900. Vast'ikään on julkaissut mietintönsä komitea, jonka hallitus v. 1922 asetti suunnittelemaan toimenpiteitä yksityismetsätalouden kohottamiseksi.

Historiallisena julkaisuna on mainittava A. Benj. Helanderin *Suomen Metsänhoitoyhdistys Tapion synty; katsaus virtauksiin yksityismetsänhoidon edistämistyön alalla vv. 1897—1907* (Helsinki 1914, 124 s. Ilmestynyt myös ruotsiksi.).

Puunjalostusteollisuutta ja puunjalostusyhtiöitä koskevat tutkimukset.

Puunjalostusteollisuus liittyy Suomessa niin kiinteästi metsätalouteen, että kysymyksen ollessa metsätieteellisestä tutkimustoiminnasta on syytä mainita sitäkin koskevista tutkimuksista mikäli ne eivät käsittele suorastaan teknillisiä kysymyksiä.

Suomen puunjalostusteollisuudessa on sahateollisuudella valta-asema. Tämän teollisuudenhaaran historiaa ovat E. G. Palmén ja J. T. Hanho tutkineet. Palmén kuvaa tutkielmassaan *Suomen sahaliikkeen kehityksestä* (Suomalaisen Tiedeakatemian esitelmät ja pöytäkirjat 1911: 1, s. 88—105) Suomen sahateollisuuden syntyä ja varhaisempia vaiheita. Hanho käsittelee julkaisussaan *Tutkimuksia Suomen metsätalouden historiasta 19. vuosisadalla: I. Sahateollisuudesta ja sahantuotteiden viennistä 1840- ja 1850-luvuilla* (Erikoistutk. 3, 1915. 197 s.) tärkeätä kehitysvaihetta Suomen metsätalouden ja sahateollisuuden historiassa.

Suomen puunjalostusteollisuuden suuren nousun ja kehityksen aikakautta viime vuosisadan jälkimmäisellä puoliskolla ja tällä vuosisadalla valaisevat ne historiikit, joita on julkaistu vanhempien suurten puunjalostusyhtiöiden tai teollisuuslaitosten synnystä, kehityksestä ja toiminnasta. Mainittavimpia sellaisia ovat: LENNART GRIPENBERGin *Aktiebolaget W. Gutzeit & C:o 1872—1922* (Helsinki 1924. 156 s.+55 kuvaa, 2 diagr. ja 2 karttaa. Ilmestynyt suomeksi ja ruotsiksi.), GUSTAF LANGENSKIÖLDin *Kymmene Aktiebolag 1872—1922* (Kouvola 1922. 145+XXI s.+21 kuvataulua ja kartta. Ruotsiksi.), *Reposaaren Höyrysaha O/Y 1872—1922, Muistojulkaisu 50-vuotisen toiminnan johdosta* (Helsinki 1922. 87 s.+2 karttaa. Tekijää ei mainita.), W. PARVIAISEN *Säynätsalo, palanen Keski-Suomen teollisuuden kehityskulkua* (Jyväskylä 1922. 138 s.), A. Ahlström Osakeyhtiön julkaisema *Varkauden tehdas, historiallinen katsaus* (Helsinki 1925. 27 s.+6 kuvataulua ja 2 karttaa. Ilmestynyt myös ruotsiksi.) sekä KARL EKMANin *Aug. Eklöf, Aktiebolag 1864—1924* (Borgå 1926. 168 s.+14 kuvataulua.). I.K.T. LASSILA ja JOHN FLOMAN ovat julkaisseet laajan katsauksen *Suomen teollisuus ja kauppa I—II* (Helsinki 1922 ja 1924. 281+310 s. Ilmestynyt myös ruotsiksi).

Puunjalostusteollisuuden työoloista vähäistä ennen maailmansotaa on G. R. SNELLMAN toimittanut kaksi monipuolista virallista tilastollista selvitystä: *Tutkimus Suomen paperiteollisuudesta* (Työtilasto XIV, 1912. 249 s.+7 diagr. ja kartta sekä 98 s. taulukkoja. Ilmestynyt myös ruotsiksi.) ja *Tutkimus Suomen sahateollisuudesta sekä sen yhteen kuuluvista metsänhakkuusta, lauttauksesta ja lastauksesta* (Työtilasto XVI, 1914. 227 s.+8 diagr. ja 164 s. taulukkoja. Ilmestynyt myös ruotsiksi.). Myöhemmin on Tilastollisen Päätoimiston sosialitilastollinen osasto julkaissut selvityksen *Sahateollisuuden työpalkat vuosina 1913—1924* (Sosialinen Aikakauskirja 1924, s. 570—578, 615—623 ja 761—768; suomeksi ja ruotsiksi). Puunjalostusteollisuuden metsä- ja uittotyöväen työ-, palkka-, asunto-, perhe- y.m. olojen selville saamiseksi toimeenpani T. P:n sosialitilastollinen osasto v. 1921 tiedustelun, jonka tulokset sittemmin julkaistiin nimellä *Tutkimus metsä- ja uittotyöntekijäin oloista keväällä 1921* (Suomen Virallinen Tilasto XXXII: Sosialisia Erikoistutkimuksia IV, 1923. 57 s. Ilmestynyt myös ruotsiksi.).

Puunjalostusteollisuutta harjoittavat yhtiöt ovat, turvatakseen varmemmin raaka-aineen saantinsa, hankkineet itselleen laajoja metsäalueita. Yleinen mielipide on etupäässä sosiaalipoliittisista syistä asettunut yhtiöiden maahankinnan suhteen vastustavalle kannalle ja valtiovalta on sitä lainsäädäntötoimenpiteillä melkoisesti rajoittanut. Vuosikymmen sitten oli tämä kysymys huomattavimpia päivänkysymyksiä ja sitä pyrittiin myös erikoisilla tutkimuksilla valaisemaan. Suurisuuntaisin niistä ei ole lopullisesti valmistunut; julkisuuteen ovat tulleet vain seuraavat julkaisut: August Renvallin *Program för utredningen af industrins jordförvärf* (A.F.F. 13, 1919. 158 s.), Aarne Bomanin *Yksityisten ja yhtiöiden maanomistus* (A.F.F. 13, 1920. 88 s.) sekä Renvallin ja Bomanin yhteinen julkaisu *Tutkimuksia yhtiöiden maanomistuksesta Multian, Heinäveden, Sulkavan, Ruokolahden ja Luumäen kunnissa: I. Johdannollinen osa* (A. F.F. 19, 1921. 160 s.+5 karttaa.). Samaa kysymystä valaisevat myös Heikki Renvallin tutkielma *Teollisuuden ja maatalouden välinen taistelu Suomen metsistä* (Helsinki 1914. 150 s. Ilmestynyt myös ruotsiksi.) sekä komiteamietinnöt vuosilta 1906 ja 1920.

Metsäntuotteiden vientiä sekä vientitulleja käsittelevät tutkimukset.

Suomen metsäntuotteiden vienti on muutamien vuosikymmenien aikana kasvanut ennen aavistamattomassa määrässä. Maan viennissä sillä on niin määräävä sija, että muiden tavaroiden osalle yhteensä tulee vain 10—20 % koko viennin arvosta. Metsäntuotteiden viennin kehitys sekä jakautuminen eri tavaralaatujen ja eri maiden kesken on näin ollen tarjonnut sekä mielenkiintoisen että käytännöllisesti tärkeän tutkimusaiheen. Heikki Renvall on tätä aihetta käsitellyt laajahkossa tutkimuksessaan *Suomen metsäntuotteiden vienti kansantaloudelliselta kannalta* (Helsinki 1910. 315 s.). Vähän myöhemmin on T. W. Paavonen julkaissut tilastollisen katsauksen *Suomen metsäntuotteiden vienti 25-vuotiskaudella 1886—1910* (Suomen Metsänhoitoyhdistys Tapion julkaisuja n:o 1, 1911. 84 s.+2 graaf. taulua.). Metsäntuotteiden viennin tärkeä merkitys Suomen rautatieliikenteelle ilmenee selvästi Topi Kallion tutkimuksesta *Rautateiden suunnat viennin kannalta ja valtion tulot Suomessa* (Taloustieteellisiä tutkimuksia XXXIII, Helsinki 1925. 279 s.+28 s. taulukkoja.).

Jo parin vuosikymmenen ajan on paperiteollisuuden harjoittajien taholta vaadittu toimenpiteitä raaka-aineen maasta viennin rajoittamiseksi. Metsänomistajien piirissä ovat hankkeet pienen puun viennin rajoittamiseksi vientikielloilla tai -tulleilla kuitenkin kohdanneet jyrkkää vastustusta. Tätä kiistakysymystä on A. BENJ. HELANDER käsitellyt kahdessa tutkielmassaan *Pienemmän puutavaran vientitulleista* (Suomen Metsänhoitoyhdistys Tapion I vuosijulkaisu, 1909. 93 s.+3 taulukkoa ja kartta. Ilmestynyt myös ruotsiksi: S.My.J. 26, 1909, s. 520—623.) ja *Puutavaran vientitullit, vastaisen tullipolitiikkamme suunnittelua kansantaloutemme kannalta* (Helsinki 1918. 56 s.). Äskettäin on hallitus asettanut komitean samaa kysymystä selvittelemään.

Puun hintojen kehittymistä selvittelvät tutkimukset.

Sen jälkeen kuin Suomi viime vuosisadan jälkipuoliskolla yhä kasvavassa määrässä alkoi ottaa osaa maailman markkinoiden varustamiseen metsäntuotteilla ovat puun hinnat Suomessa melkoisesti kohonneet. Myöhemmin on maailmansota moninaisine seurauksineen vaikuttanut myös puun hintoihin.

Puun hintojen kehittymistä Suomessa ovat tutkineet T. W. PAAVONEN, T. HEIKKILÄ ja EINO SAARI. PAAVONEN on virallisessa vientitilastossa ilmoitettujen sahatavaroiden f.o.b.-arvojen nojalla tutkinut tärkeimpien sahatavaroiden, s.o. lankkujen, battensien ja lautojen, hintojen kehittymistä 25-v.kautena 1886—1910. Tutkielma on julkaistu nimellä *Onko sahatuotteiden hintojen kohoaminen otettava huomioon metsänmyynneistä päätettäessä?* (Sisältyy muistojulkaisuun Evon Metsänvartijakoulu 1876—1916, s. 22—31). HEIKKILÄ tarkastaa tutkimuksessaan *Sahatukkien hintain kallistuminen* (Mets. Aik. 1917, s. 18—30) sahatukkien hintojen kehittymistä Suomen valtionmetsissä vuosina 1871—1913. SAARI on julkaissut tutkimuksen *Sahapuun kantohinta ja menekki Suomen valtionmetsissä vv. 1913—1922* (A.F.F. 27, 1924. 110 s.+ kartta.). Se on tavallaan jatkoa HEIKKILÄN tutkimukselle, mutta aihe on käsitelty laajemmin ja yksityiskohtaisemmin sekä erilaista tutkimusmenetelmää käyttäen.

Metsälainsäädäntöä koskevat tutkimukset.

Suomen metsälainsäädännön varhaisempia kehitysvaiheita kuvaa E. G. Palmén tutkielmassaan *Suomen metsälainsäädäntö vuoteen 1861* (Yhteiskuntataloudellinen Aikakauskirja 1914, s.103—137). Erkki Laitakari on julkaissut tutkielman *Katsaus eri maiden metsälainsäädäntöön* (Erikoistutk. 12, 1923. 83 s.), jossa tehdään selkoa eri metsälakilaaduista ja niiden käytännöstä eri maissa sekä esitetään suppea katsaus metsälainsäädännön kehitykseen tärkeimmissä metsätalousmaissa.

Viljavan maa-alan jakaantumista koskevat tutkimukset.

Varsinkin asutushistorian mutta myös maa- ja metsätalouden sekä kasvi- ja eläinmaantieteen kannalta tärkeä kysymys on, millä tavalla viljava maa-ala Suomessa on jakaantunut. Metsätieteellisen tutkimustyön piirissä, josta huomio tähän kysymykseen on lähtöisin, on, sitä tutkittu etupäässä kasvitieteellisiä menetelmiä käyttämällä. Alkusysäyksen antoi kysymyksen selvittelylle A. K. Cajander, joka jo metsätyyppitutkimuksissaan (kts. s. 25) oli tullut huomaamaan sen läheisen korrelation, joka vallitsee kasvillisuuden ja maaperän viljavuuden välillä. Teoksessaan *Metsänhoidon perusteet I* (sekä samanaikaisesti Mets. Aik. 1916. s. 51—58) hän osoittaa, että tutkimalla vaateliaimpien kasvilajien ja kasviyhdyskuntien levenemistä ja esiintymistä Suomessa voidaan päästä selvyyteen viljavan maa-alan jakaantumisesta. Missä vaateliaimpia kasvilajeja tai kasviyhdyskuntia on runsaammin, siellä on myös viljavaa maata huomattavammassa määrässä. Merkitsemällä kartalle vaateliaimpien kasvilajien tai kasviyhdyskuntien esiintymispaikat voidaan siis saada yleispiirteinen kuva viljavan maa-alan jakaantumisesta. Hieman laajemmin on Cajander samaa kysymystä käsitellyt esitelmissään *Über die Verteilung des fruchtbaren Bodens in Finnland und über den Einfluss dieser Verteilung auf die wirtschaftlichen Verhältnisse im Lande* (A.F.F. 25, 1923. 17 s.) ja *Den bördiga markens fördelning i Finland* (Nordisk Statistisk Tidskrift 1925, s. 329—348) sekä edellä mainitussa julkaisussaan *Metsätyyppiteoria*, joissa hän m.m. myös osoittaa, miten läheisesti Suomen asuttumisen kulku on ollut riippuvainen viljavan maa-alan jakaantumisesta.

CAJANDERin suurin piirtein esittämää tutkimusmenetelmää käyttäen on O. J. LUKKALA tutkinut viljavan maa-alan jakaantumista Suomessa, etenkin Itä-Suomessa, jossa hänellä oli tilaisuus tehdä yksityiskohtaisempia tutkimuksia. Tutkimusten tulokset ovat julkaistut nimellä *Tutkimuksia viljavan maa-alan jakautumisesta etenkin Savossa ja Karjalassa* (A.F.F. 9, 1919. 223 s.+2 taulukkoa ja 17 karttaa.). K. LINKOLA jakaa julkaisussaan *Zur Kenntnis der Verteilung der landwirtschaftlichen Siedlungen auf die Böden verschiedener Waldtypen in Finnland* (A.F.F. 22, 1922. 67 s.) Suomen pääasiassa floristisen havaintoaineiston nojalla 13 maatalous-kasvimaantieteellisen alueeseen, jotka eroavat toisistaan viljavien maiden suhteellisen runsauden ja suhteellisen lihavuuden suhteen. Jokainen näistä alueista jakaantuu vielä useaan pienempään alueeseen. Tämän jaoituksensa pohjalla tekijä viittoo suuntaviivoja maatalouden vastaiselle kehittämiselle sekä asutustoiminnalle.

Viljavan maa-alan jakaantumisen vaikutusta eläimistöön ovat tutkineet O. J. LUKKALA (tulokset sisältyvät hänen ylempänä mainittuun julkaisuunsa), ILMARI HILDÉN (*Linnustosta eri metsätyypeillä.* Sisältyy julkaisuun Suomen Metsätieteellisen Seuran toiminta v. 1917—1920. A.F.F. 14, 1920. s. 139—150.) ja K. J. VALLE (*Fischwasseruntersuchungen im Staatsrevier Evo* (A.F.F. 25, 1923. 34 s.+4 kuvataulua ja kartta.).

Asutusoloja ja asutuspolitiikkaa selvittelevät tutkimukset.

Suomen asuttuminen on tapahtunut ja tapahtuu yhä edelleenkin suureksi osaksi metsien turvin. Asutus tarvitsee metsiä, mutta toisaalta myös metsätalous ei tule toimeen ilman asutusta. Tämä niiden läheinen riippuvaisuus toisistaan vaikuttaa, että asutuspoliittiset tutkimukset useasti ovat samalla metsäpoliittisia tutkimuksia tai ainakin liittyvät niihin läheisesti. Seuraavassa mainitaan muutamia huomattavampia tällaisia tutkimuksia.

Valtionmaiden asuttamisen historiasta ja tähänastisista tuloksista tehdään laajasti selkoa hallituksen v. 1917 asettaman valtionmetsäkomitean v. 1920 julkaistussa mietinnössä n:o 1; samassa mietinnössä esitetään suuntaviivoja valtionmaiden asuttamisen vastaista järjestelyä varten. Samana vuonna valmistui myös hallituksen v. 1917 asettaman

asutuskomitean mietintö valtionmaiden asuttamiskysymyksestä. Jo aikaisemmin oli n.s. tilattoman väestön alakomitea v. 1904 julkaisemassaan mietinnössä käsitellyt valtionmaiden asuttamismahdollisuuksia ja asuttamismuotoja. — E. Cajander on julkaissut katsauksen *Valtion asutustoiminta ja sitä koskeva lainsäädäntö Suomessa XX vuosisadan alussa* (Maatalousministeriön julkaisu IV, 1925. 115 s. Ilmestynyt myös ruotsiksi.).

Suomen pohjoisten osien asutusoloja ovat tutkineet varsinkin K. T. Jutila ja E. Cajander. Jutila on julkaissut 4-osaisen tutkimussarjan *Tutkimuksia Perä-Pohjolan ja Lapin talous- ja asutusoloista* (A.F.F. 18, 1920 ja 28, 1923. Yht. 571 s.+3 karttaa.), Cajander tutkimukset *Asutus- ja maatalousoloista valtionmetsätorpissa Rovaniemen pitäjässä* (Asutushallituksen tiedonantoja, Sarja I: 1, 1918. 59 s.) ja *Asutus ja maatalousoloista valtionmetsätorpissa Suomussalmen pitäjässä* (Asutushallituksen tutkimustoimiston julkaisuja n:o 2, 1919. 78 s. + taulukko ja kartta.). Kutakuinkin samoihin aikoihin toimitti Mauno Pekkala eräissä Länsi-Suomen pitäjissä vastaavanlaisen tutkimuksen, jonka tuloksista hän tekee selkoa julkaisussaan *Tutkimuksia kruununmetsätorppien taloudesta Kurun, Parkanon ja Ikaalisten pitäjissä* (A.F.F. 17, 1920. 78 s.).

Valtion maanluovutuspolitiikkaan kohdistuvat tutkimukset.

Valtion metsämaita on Suomessa luovutettu yksityisille paitsi asutuksen tarpeisiin myös metsätalouden harjoittamista varten. Näitä alueluovutuksia käsitellään yleiseltä kannalta ylempänä mainitussa valtionmetsäkomitean mietinnössä. Mauno Pekkala on julkaissut laajan tutkimuksen *Verollepano- ja jakotoimituksista Kuusamon, Kemijärven ja Kuolajärven knihtikontrahtipitäjissä* (A.F.F. 21, 1921. 230 s.). Eino Saari käsittelee tutkimuksessaan *Itä-Suomen lahjoitusmailla noudatetusta metsäpolitiikasta* (A.F.F. 12, 1919. 94 s.+liite.) kysymystä n.s. lahjoitusmaavaltionmetsien luovuttamisesta yksityisille. Samaa kysymystä selvittelemään asetti hallitus v. 1923 komitean, joka v. 1924 on julkaissut siitä perusteellisen selvityksen. E. J. Castrén on julkaissut tutkimuksen *Rekognitiometsät ja tehdastilat* (Helsinki 1924, Maatalousministeriön julkaisuja. 91 s.).

3. Metsäteknologiset tutkimukset.

Metsäteknologisia tutkimuksia on Suomessa, kuten edellä jo on huomautettu, toimitettu toistaiseksi sangen vähän. A. BENJ. HELANDERin metsäteknologian käsikirjaan *Metsänkäyttöoppi* (Porvoo 1918; 2 painos 1922. 584 s.) sisältyy useita tekijän omien tutkimusten tuloksia samoin Y. TALVITIEN käsikirjaan *Puun hiilto ja hartsin valmistus* (Porvoo 1924, 547 s.). HELANDERilta on ilmestynyt myös julkaisu *Pihkanjuoksutuksesta, Liettuassa, Puolassa ja Saksassa tehtyjen havaintojen mukaan* (Erikoistutk. 11, 1919. 35 s.).

T. J. HINTIKKA on tutkinut raudus- ja hieskoivun *(Betula verrucosa* ja *B. odorata)* visapuuta, joka on erittäin haluttua puusepänteollisuuteen ja sen vuoksi on korkeassa hinnassa. Tutkimuksen tuloksista HINTIKKA on julkaissut ennakkotiedonannon *Die Wisa-Krankheit der Birken in Finnland* (Zeitschr. für Pflanzenkrankheiten und Gallenkunde 32, 1922, s. 193—210[1]); tämän mukaan koivun visautuminen syntyy ydinsäteiden epäsuhtaisen laajenemisen johdosta. Mitkä syyt tämän patologisen ilmiön aiheuttavat, on toistaiseksi vielä selvittämättä.

Acta Forestalia Fennica-sarjassa on metsäteknologian alalta julkaistu vain seuraavat kolme pientä tutkielmaa: OLLI HEIKINHEIMON *Einige Beobachtungen über die Aufarbeitung und Verwahrung des Brennholzes* (A.F.F. 4, 1919. 6 s.), AUGUST RENVALLin *Das radiale Schwindmass des lappländischen Kiefernstammholzes* (A.F.F. 26, 1923. 14 s.) ja saman tekijän *Beobachtungen über die Exzentrizität des lappländischen Kiefernstammes* (A.F.F. 26, 1923. 14 s.).

I. LASSILA on vastikään painettavaksi jättänyt kriitillisen katsauksen *Puiden teknillisten ominaisuuksien tähänastinen tutkimus tuloksiensa ja järjestelmiensä puolesta arvosteltuna* sekä historiallisen tutkielman *Piirteitä sahan ja saharaamin alkukehityksestä.*

Historiallisena julkaisuna huomattava on myös LENNART GRIPENBERGin *Kymin Lauttausyhdistys, muistojulkaisu 50-vuotisen yhteisuiton johdosta Päijänteen vesistössä vv. 1873—1922* (Helsinki 1924. 128 s.+27 kuvataulua, 8 taulukko- y.m. liitettä ja kartta. Ilmestynyt myös ruot-

[1] Vert. myös Mets. Aik. 33, 1916, s. 417—420 ja Tapio 1917, s. 8—14.

siksi.), joka antaa selväpiirteisen kuvan laajan Päijänteen vesistön uittoolojen valtavasta kehityksestä viime ja tällä vuosisadalla. K. E. Lindberg on laatinut katsauksen *Svensk och norsk flottningslagstiftning och flottningsförhållanden* (Erikoistutk. 8, 1917. 44 s.).

Kemiallisen puunjalostusteollisuuden merkityksen viime aikoina suuresti kasvaessa on Suomessa, kuten ulkomaillakin, alettu kiinnittää erikoista huomiota puun kemialliseen tutkimiseen ja varsinkin selluloosan valmistusta koskeviin kysymyksiin. Tämä tutkimusala ei kuitenkaan kuulu enää varsinaisen metsätieteellisen tutkimustoiminnan piiriin, joten siihen kohdistuvien tutkimusten selostaminen tässä sivuutetaan. Selluloosakemiallisia tutkimuksia ovat Suomessa suorittaneet etenkin A. O. Aschan, G. K. Bergman, Jarl Enckell, Alfons Hellström, S. V. Hintikka, Erik Hägglund, F. W. Klingstedt, H. Roschier ja O. Routala ja kuivatislauskemiallisia A. O. Aschan ja G. Komppa. Tutkimustuloksia on julkaistu Suomalaisen Tiedeakatemian ja Suomen Tiedeseuran julkaisusarjoissa sekä sarjoissa Meddelanden från Industrins Centrallaboratorium—Teollisuuden Keskuslaboratorion Tiedonantoja, Acta Academiae Aboensis, Finska Kemistsamfundets Meddelanden ynnä Teknillisessä Aikakauslehdessä ja Teknikernlehdessä. Useat tutkimukset ovat samanaikaisesti tulleet julkaistuiksi myös ulkomailla, esim. julkaisuissa Der Papierfabrikant, Svensk Pappersstidning ja Svensk Kemisk Tidskrift.

Henkilöluettelo.

Sivu

AALTONEN, V. T. ... 20, 28, 29, 31, 34, 36, 37, 45
AARNIO, B. ... 28
ANDERSSON, G. ... 40
ASCHAN, A. O. ... 59
AUER, VÄINÖ ... 20, 39, 40, 41
BACKMAN, A. L. ... 39, 40
BERG, EDMUND VON ... 47
BERGMAN, G. K. ... 59
BJÖRKENHEIM, RAF. ... 27
BLOMQVIST, A. G. ... 9
BLOMQVIST, T. J. ... 10
BOMAN, AARNE ... 50, 53
BONSDORFF, A. J. ... 35
BORENIUS, A. ... 10
BRENNER, WIDAR ... 27
BURGMAN, ADOLF ... 50
CAJANDER, A. K. 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 21, 25, 30, 31, 32, 34, 35, 38, 44, 48, 49, 50, 55
CAJANDER, E. ... 57
CAJANUS, WERNER ... 41, 42, 43, 44, 46, 48
CANNELIN, THOM. ... 10, 34
CASTRÉN, E. J. ... 57
CLEVE-EULER, ASTRID ... 40
EKMAN, KARL ... 52
ELFVING, FREDR. ... 33
ELFVING, K. O. ... 10, 36
ENCKELL, JARL ... 59
ENROTH, G. HJ. ... 34
FLOMAN, JOHN ... 52
FORSELLES, J. H. A. AF ... 46
FROSTERUS, B. ... 28
GADD, P. A. ... 7
GRIPENBERG, LENNART ... 52, 58
HACKSTEDT, H. H. ... 46
HANHO, J. T. ... 51
HANNIKAINEN, P. W. ... 12, 15, 18, 50
HAKVIA, YRJÖ ... 50
HEIKINHEIMO, OLLI ... 20, 28, 29, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 47, 48, 58

Heikkilä, T. ... 9, 45, 46, 54
Helander, A. Benj. ... 48, 50, 51, 54, 58
Hellström, Alfons ... 59
Herlin, Rafael ... 39
Hertz, Martti ... 30
Hildén, Ilmari ... 56
Hintikka, S. V. ... 59
Hintikka, T. J. ... 58
Hjelt, Hjalmar ... 11, 30
Homén, Theodor ... 11, 41
Hult, R. ... 11, 30
Hägglund, Erik ... 59
Ilvessalo, Lauri ... 29, 32, 33, 34, 36
Ilvessalo, Yrjö ... 16, 20, 26, 28, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 49
Jutila, K. T. ... 57
Kairamo (Kihlman), A. Osw. ... 11, 23, 32, 50
Kallio, Topi ... 53
Kalm, P. ... 7
Karlsson, Gunnar ... 45
Karsten, P. A. ... 11
Klingstedt, F. W. ... 59
Kokkonen, P. ... 28, 31, 40, 41
Komppa, G. ... 23, 59
Krohn, Leo ... 49
Kujala, Viljo ... 26, 27, 30, 35, 39
Laitakari, Erkki ... 46, 55
Lakari, O. J. ... 16, 20, 26, 29, 34, 44, 45, 46
Langenskiöld, Gustaf ... 52
Langenskjöld, Fabian ... 46
Lappi-Seppälä, M. ... 43, 49, 50
Lassila, I. ... 29, 34, 52, 58
Lindberg, H. ... 40
Lindberg, K. E. ... 59
Lindeberg, J. W. ... 43
Linko, Sulo ... 30
Linkola, K. ... 26, 27, 56
Liro, J. I. ... 10, 36
Lukkala, O. J. ... 28, 34, 39, 48, 56
Lönnroth, Erik ... 43, 46
Lönnroth, Onni ... 35
Minni, P. E. ... 45
Montell, Robert ... 46
Multamäki, S. E. ... 31, 37, 40, 48
Nordenskiöld, N. C. ... 46
Norrlin, J. P. ... 10, 25, 38
Nyholm, E. T. ... 10
Paavonen, T. W. ... 53, 54

PALMÉN, E. G. ... 51, 55
PALMGREN, ALVAR ... 17, 26, 37
PARVIAINEN, W. ... 52
PEKKALA, MAUNO ... 51, 57
PESOLA, V. ... 28
RAINIO, Y. E. ... 10
RANCKEN, TORSTEN ... 23
RENVALL, AUGUST ... 29, 37, 38, 58
RENVALL, HEIKKI ... 53
REUTER, EINAR ... 37
ROSCHIER, H. ... 59
ROUTALA, O. ... 59
SAALAS, UUNIO ... 36
SAARI, EINO ... 35, 44, 49, 54, 57
SANDBERG, H. R. ... 37
SAXÉN, RAGNAR ... 48
SILFVERBERG, JARL ... 45
SIVÉN, ALBERT ... 10
SNELLMAN, G. R. ... 52
STENBÄCK, L. ... 10
STRÖMBERG, KARL ... 49
TALVITIE, Y. ... 58
TANTTU, ANTTI ... 39, 40
THESLEFF, ARTUR ... 30, 36
THOMÉ, NILS ... 45
TIGERSTEDT, A. F. ... 22, 33
TIGERSTEDT, C. G. ... 22
VALLE, K. J. ... 56
VALMARI, J. ... 27
WARÉN, H. ... 39
WUORI, E. ... 34

Suomen Metsätieteellisen Seuran julkaisusarja

Acta Forestalia Fennica

1–30 (1909–1926)

1.

A. K. CAJANDER (1909): Ueber Waldtypen.
AUGUST RENVALL (1912): Die periodischen Erscheinungen der Reproduktion der Kiefer an der polaren Waldgrenze.

2.

E. VUORI (1913): Studien über die durch Brandkultur entstandenen Nadelholzbestände des Staatsforstes Vesijako.
L. ILVESSALO (1913): Versuche mit ausländischen Holzarten im Staatsforst Vesijako.
A. K. CAJANDER (1913): Studien über die Moore Finnlands.

3.

WERNER CAJANUS (1914): Ueber die Entwicklung gleichaltriger Waldbestände. Eine statistische Studie. I.
AUGUST RENVALL (1914): Ein Beitrag zur Kenntnis der sog. partiellen Variabilität der Kiefer.

4.

ANTTI TANTTU (1915): Ueber die Entstehung der Bülten und Stränge der Moore.
OLLI HEIKINHEIMO (1915): Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin.
—»— (—»—) Einige Beobachtungen über die Aufarbeitung und Verwahrung des Brennholzes.
K. O. ELFVING (1915): Cronartium peridermium Strobi Kleb. auf Pinus Cembra in Finnland gefunden.

5.

O. J. LAKARI (1915): Studien über die Samenjahre und Altersklassenverhältnisse der Kiefernwälder auf dem nordfinnischen Heideboden.
ANTTI TANTTU (1915): Tutkimuksia ojitettujen soiden metsittymisestä.

6.

YRJÖ ILVESSALO (1916): Mäntymetsikköjen valtapuitten kasvusta mustikka- ja kanervatyyppien kankailla Salmin kruunupuistossa.
LAURI ILVESSALO (1917): Tutkimuksia mäntymetsien uudistumisvuosista Etelä- ja Keski-Suomessa.
RAF. BJÖRKENHEIM (1919): Beiträge zur Kenntnis einiger Waldtypen in den Fichtenwaldungen des deutschen Mittelgebirges.

7.

A. K. CAJANDER (1917): Suomen Metsätieteellisen Seuran toiminta v. 1909—1917.

8.

A. J. BONSDORFF (1917): Studien über die Sturmrichtungen in Finnland.
—»— (1918): Beiträge zur Kenntnis der Sturmschäden in Finnland.
OLLI HEIKINHEIMO (1917): Metsänhävityksen ja polton vaikutuksesta metsämaahan.

9.

O. J. LUKKALA (1919): Tutkimuksia viljavan maa-alan jakautumisesta etenkin Savossa ja Karjalassa.
S. E. MULTAMÄKI (1919): Tutkimuksia metsien tilasta Savossa ja Karjalassa.

10.

UUNIO SAALAS (1919): Kaarnakuoriaisista ja niiden aiheuttamista vahingoista Suomen metsissä.

11.

AUGUST RENVALL (1919): Suojametsäkysymyksestä: I. Mäntymetsän elinehdot sen pohjoisrajalla sekä tämän rajan alenemisen syyt. II. Suojametsäjärjestelmän tarkoitusperät ja edellytykset. III. Metsän suojeleminen kuloilta. IV. Poronlaidunnan järjestely suojametsäalueella. V. Metsänhoidon pääperusteet varsinaisella mäntymetsärajavyöhykkeellä. VI. Asutusolojen järjestely mäntymetsärajaseuduilla.

11. Supplementum.

OLLI HEIKINHEIMO (1921): Über die Schutzwaldfrage. (Saks. selostus AUGUST RENVALLin julkaisusta »Suojametsäkysymyksestä I—VI»).

12.

A. L. BACKMAN (1919): Torvmarksundersökningar i mellersta Österbotten.
VÄINÖ AUER (1920): Über die Entstehung der Stränge auf den Torfmooren.
EINO SAARI (1919): Itä-Suomen lahjoitusmailla noudatetusta metsäpolitiikasta.
O. J. LAKARI (1919): Ehdotus kasvutaulujen laatimiseksi Pohjois-Suomen metsiä varten.

13.

AUGUST RENVALL (1919): Program för utredning af industrins jordförvärf.
AARNE BOMAN (1920): Yksityisten ja yhtiöiden maanomistus — Enskildas och bolags jordbesittning.

14.

V. T. AALTONEN (1920): Über die Ausbreitung und den Reichtum der Baumwurzeln in den Heidewäldern Lapplands.
—»— (—»—): Wasserverbrauch der Bäume und Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens.
I. LASSILA (1920): Tutkimuksia mäntymetsien synnystä ja kehityksestä pohjoisen napapiirin pohjoispuolella.
O. J. LAKARI (1920): Tutkimuksia Pohjois-Suomen metsätyypeistä.
—»— (—»—): Suomen Metsätieteellisen Seuran toiminta v. 1917—1920.

15.

Olli Heikinheimo (1920): Pohjois-Suomen kuusimetsien esiintyminen, laajuus ja puuvarastot.

Yrjö Ilvessalo (1920): Metsämaitten puuntuotantokyvyn, nykyisen tuoton ja puunkulutuksen välisestä suhteesta.

—»— (—»—): Tutkimuksia metsätyyppien taksatoorisesta merkityksestä.

—»— (—»—): Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille.

16.

O. J. Lukkala (1920): Tutkimuksia soiden kantokerroksista.

—»— (—»—): Lehdeksien tekotapa Lounais-Suomessa ja sen metsänhoidollinen merkitys.

—»— (—»—): Studien über das Verhältnis zwischen dem Moortypus und dem Oberflächentorf der Moore.

S. E. Multamäki (1920): Suomen soista ja niiden metsittämisestä.

O. J. Lukkala (1920): Lisä ortsteinikysymyksen valaisemiseksi.

O. J. Lakari (1920): Tutkimuksia männyn muodosta.

17.

Erkki Laitakari (1920): Tutkimuksia sääsuhteiden vaikutuksesta männyn pituus- ja paksuuskasvuun.

Lauri Ilvessalo (1920): Ulkomaalaisten puulajien viljelemismahdollisuudet Suomen oloja silmälläpitäen.

Mauno Pekkala (1920): Tutkimuksia kruunumetsätorppien taloudesta Kurun, Parkanon ja Ikaalisten pitäjissä.

18.

Metsähallitus (1921): L'économie forestière de la Finlande.

A. K. Cajander (1921): Valtion metsätalous liikeyrityksenä.

K. T. Jutila (1921): Tutkimuksia Perä-Pohjolan ja Lapin talous- ja asutusoloista: Varsinaisen itsehoidetun maatalouden pääomasuhteista.

Väinö Auer (1921): Zur Kenntnis der Stratigraphie der mittel-österbottnischen Moore.

Viljo Kujala (1921): Havaintoja Kuusamon ja sen eteläpuolisten kuusimetsäalueiden metsä- ja suotyypeistä.

19.

Olli Heikinheimo ja Eino Saari (1922): Suomen metsät ja metsätalous. (Suomeksi ja englanniksi).

August Renvall ja Aarne Boman (1921): Tutkimuksia yhtiöiden maanomistuksesta Multian, Heinäveden, Sulkavan, Ruokolahden ja Luumäen kunnissa: I. Johdannollinen osa.

20.

A. K. Cajander und Yrjö Ilvessalo (1921): Ueber Waldtypen II.

A. K. Cajander (1922): Zur Begriffsbestimmung im Gebiet der Pflanzentopographie.

Yrjö Ilvessalo (1922): Vegetationsstatistische Untersuchungen über die Waldtypen.

J. Valmari (1921): Beiträge zur chemischen Bodenanalyse.

21.

A. K. CAJANDER (1921): Zur Frage der gegenseitigen Beziehungen zwischen Klima, Boden und Vegetation.
—»— (—»—): Zur Kenntnis der Einwanderungswege der Pflanzenarten nach Finnland.
—»— (—»—): Einige Reflexionen über die Entstehung der Arten.
S. E. MULTAMÄKI (1921): Tilastoa Pohjois-Suomen metsä- ja suotyypeistä.
MAUNO PEKKALA (1921): Verollepano ja jakotoimituksista Kuusamon, Kemijärven ja Kuolajärven knihtikontrahtipitäjissä.

22.

ALVAR PALMGREN (1922): Über Artenzahl und Areal sowie über die Konstitution der Vegetation. Eine vegetationsstatische Untersuchung.
—»— (—»—): Zur Kenntnis des Florencharakters des Nadelwaldes. Eine pflanzengeographische Studie aus dem Gebiete Ålands. I.
K. LINKOLA (1922): Zur Kenntnis der Verteilung der landwirtschaftlichen Siedlungen auf die Böden verschiedener Waldtypen in Finnland.
A. L. BACKMAN und ASTRID CLEVE-EULER (1922): Die fossile Diatomeenflora in Österbotten.

23.

(JOHAN PETTER NORRLINille omistettu nide, toimittanut 1923 A. K. CAJANDER.)
A. K. CAJANDER: Gedächtnisrede für Johan Petter Norrlin, gehalten in der Versammlung der Finnischen Wissenschaftssozietät am 10. Mai 1918.
Verzeichnis der Schriften Norrlins.
Lectio praecursoria, gehalten von J. P. Norrlin bei seiner Disputation am 13. Mai 1871.
J. P. NORRLIN (1870): Beiträge zur Flora des südöstlichen Tavastlands.
—»— (1871): Flora Kareliae onegensis: I. Über die Vegetation von Onega-Karelien und die naturgeschichtliche Grenze Finnlands sowie Skandinaviens im Osten.
—»— (1873): Bericht über eine naturgeschichtliche Reise in Torneå-Lappmark.
—»— (—»—): Übersicht der Moose und Flechten von Torneå-(Muonio-) und den angrenzenden Teilen von Kemi-Lappmark.
—»— (—»—): Über die Prinzipien bei der Anordnung botanischer Exkursionen in Finnland.
—»— (1884): Adnotationes de Pilosellis Fennicis I.
—»— (1906): Die Habichtskräuter Finnlands.
A. K. CAJANDER (1923): Einige Hauptzüge der pflanzentopographischen Forschungsarbeit in Finnland. Vortrag gehalten in der Jahresversammlung der Finnischen Akademie der Wissenschaften am 10. April 1922.

24.

A. K. CAJANDER (1923): Der Anbau ausländischer Holzarten als forstliches und pflanzengeographisches Problem.
A. F. TIGERSTEDT (1922): Arboretum Mustila: I. Havupuut.

25.

A. K. CAJANDER (1923): Forstlich-geographische Übersicht Finnlands.
—»— (—»—): Über das Verhältnis zwischen Waldzuwachs und Holzverbrauch in Finnland.

A. K. Cajander (1923): Über die Verteilung des fruchtbaren Bodens in Finnland und über den Einfluss dieser Verteilung auf die wirtschaftlichen Verhältnisse im Lande.
—»— (—»—): Was wird mit den Waldtypen bezweckt?
J. W. Lindeberg (1924): Über die Berechnung des Mittelfehlers des Resultates einer Linientaxierung.
V. T. Aaltonen (1923): Über die räumliche Ordnung der Pflanzen auf dem Felde und im Walde.
—»— (—»—): Zur Kenntnis der Ausfällung des Eisens im Boden.
—»— (—»—): Versuche zur Klärung der Schutzwirkungen von wässerigen Humusauszügen.
—»— (1924): Über neuere forstliche Betriebsarten in Deutschland.
Yrjö Ilvessalo (1923): Ein Beitrag zur Frage der Korrelation zwischen den Eigenschaften des Bodens und dem Zuwachs des Waldbestandes.
P. Kokkonen (1923): Beobachtungen über das Wurzelsystem der Kiefer in Moorböden.
K. J. Valle (1923): Fischwasseruntersuchungen im Staatsrevier Evo.

26.

A. Benj. Helander (1923): Metsätalouden tarjoamasta ansiotyöstä: I. Kruununmetsät vv. 1911—1913.
Werner Cajanus—Yrjö Ilvessalo (1923): Tutkimuksia yksityismetsien tilasta Hämeen läänin keskiosissa: Sahalahden ja Kuhmalahden pitäjien metsät.
August Renvall (1923): Das radiale Schwindmass des lappländischen Kiefernstammholzes.
—»— (—»—): Beobachtungen über die Exzentrizität des läppländischen Kiefernstammes.
Eino Saari (1923): Kuloista, etupäässä Suomen valtionmetsiä silmällä pitäen.

27.

S. E. Multamäki (1923): Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden metsänkasvusta.
Eino Saari (1923): Sahapuun kantohinta ja menekki Suomen valtionmetsissä vv. 1913—1922.
P. Kokkonen (1923): Tutkimuksia viemärien kuntoon vaikuttavista seikoista.

28.

K. T. Jutila (1923): Tutkimuksia Perä-Pohjolan ja Lapin talous- ja asutusoloista: I. Luonnontieteellis-taloudellinen yleiskatsaus. (II osa sisältyy niteeseen 18.) III. Maanviljelyksestä. IV. Karjanhoidosta.

29.

V. T. Aaltonen (1925): Allgemeines über die Einwirkung der Bäume auf einander.
A. K. Cajander (1925): Metsätyyppiteoria.
—»— (1926): The Theory of Forest Types.
T. Heikkilä (1925): Kasvututkimuksia Perä-Pohjolasta.
Martti Hertz (1925): Niinipuun uudistumisesta Suomessa.

30.

ERIK LÖNNROTH (1925): Untersuchungen über die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger naturnormaler Kiefernbestände basiert auf Material aus der Südhälfte Finnlands.

—»— (1926): Der stereometrische Bestandesmittelstamm.

P. KOKKONEN (1926): Beobachtungen über die Struktur des Bodenfrostes.

ERIK LÖNNROTH (1926): Ein Dendrometer.

Liite 2

Mesätieteellisen Koelaitoksen Julkaisuja 1–10 (1919–1926)

1.

V. T. AALTONEN (1919): Kangasmetsien luonnollisesta uudistumisesta Suomen Lapissa.

2.

O. J. LAKARI (1920): Tutkimuksia kuusen ja männyn kasvusuhteista Pohjois-Suomen paksusammaltyypillä.
OLLI HEIKINHEIMO (1920): Kuusimuodoista ja niiden metsätaloudellisesta arvosta.
—»— (—»—): Kuusen iän määräämisestä ja kuusen myöhäisjuurista.
O. J. LAKARI (1920): Tutkimuksia kuusen karsimisesta.

3.

O. J. LAKARI (1920): Tutkimuksia männyn muodosta.
OLLI HEIKINHEIMO (1920): Pohjois-Suomen kuusimetsien esiintyminen, laajuus ja puuvarastot.
—»— (—»—): Suomen lumituhoalueet ja niiden metsät.
VÄINÖ AUER (1921): Piirteitä Keski-Pohjanmaan soistumistavoista.

4.

Metsätieteellisen Koelaitoksen perustaminen ja sen toiminta vuosina 1918—1920.
O. J. LAKARI (1921): Tutkimuksia kuusimetsien uudistumisvuosista Etelä- ja Keski-Suomessa.
OLLI HEIKINHEIMO (1921): Suomen metsärajametsät ja niiden vastainen käyttö.
VÄINÖ AUER (1921): Tutkimuksia Lapin tulvamailta.
VILJO KUJALA (1921): Havaintoja Kuusamon ja sen eteläpuolisten kuusimetsäalueiden metsä- ja suotyypeistä.

5.

EINO SAARI (1922): Kotitarvepuun kulutus maaseudulla Turun ja Porin läänissä.
OLLI HEIKINHEIMO (1922): Pohjois-Suomen kuusimetsien hoito.
LAURI ILVESSALO (1923): Raivolan lehtikuusimetsä.

6.

VÄINÖ AUER (1922): Suotutkimuksia Kuusamon ja Kuolajärven vaara-alueilta.

7.

VILJO KUJALA (1924): Tervaleppä (Alnus glutinosa (L.) Gaertn.) Suomessa. Kasvimaantieteellinen tutkimus.
—»— (—»—): Laskelmia lehtipuiden lehtikauden pituudesta ja puiden kukkimisajoista Suomessa.
M. LAPPI-SEPPÄLÄ (1924): Linja-arvioimisesta ja sen tarkkuudesta.

8.

VILJO KUJALA (1924): Keski-Pohjanmaan soiden synnystä.
VÄINÖ AUER (1924): Eräitä vastaisia tehtäviä suotutkimuksen alalla Suomessa.
—»— (—»—): Die postglaziale Geschichte des Vanajavesisees.

9.

YRJÖ ILVESSALO (1924): Suomen metsät: Metsävarat ja metsien tila. (Suomeksi, ruotsiksi ja englanniksi).
OLLI HEIKINHEIMO (1924): Suomen metsien metsänhoidollinen tila.
V. T. AALTONEN (1925): Metsikön itseharventumisesta ja puiden kasvutilasta luonnonmetsissä.
—»— (—»—): Über den Aziditätsgrad (p_H) des Waldbodens.
M. LAPPI-SEPPÄLÄ (1925): Metsänkasvun ja hakkuun välisestä suhteesta sekä puunkulutuksesta ja metsämaitten tuottokyvystä Turun-Porin läänissä.
VÄINÖ AUER (1925): Investigations of the Ancient Flora of Häme (Tavastland).

10.

VILJO KUJALA: Untersuchungen über die Waldvegetation in Süd- und Mittelfinnland: I. (1926). Zur Kenntnis des ökologisch-biologischen Charakters der Pflanzenarten unter spezieller Berücksichtigung der Bildung von Pflanzenvereinen. A. Gefässpflanzen. B. Laubmoose. C. Flechten. II. (1925) Über die Begrenzung der Siedlungen.
—»— (1926): Untersuchungen über den Einfluss von Waldbränden auf die Waldvegetation in Nord-Finnland.
V. T. AALTONEN (1926): Über die Umsetzungen der Stickstoffverbindungen im Waldboden.

Liite 3

Suomen Metsänhoitoyhdistyksen julkaisusarja
Erikoistutkimuksia
1–12 (1914–1923)

1.

SULO LINKO (1914): Tammen leveneminen Maarian, Raision, Kaarinan ja Paraisten pitäjässä.

2.

T. HEIKKILÄ (1914): Tuotantotaulut pääpuulajeillemme: männylle, kuuselle ja koivulle.

3.

J. T. HANHO (1915): Tutkimuksia Suomen metsätalouden historiasta 19. vuosisadalla: I. Sahateollisuudesta ja sahantuotteiden viennistä 1840- ja 1850-luvuilla.

4.

G. HJ. ENROTH (1915): Lohkohakkauksesta Suomen sotilasvirkataloilla.

5.

L. ILVESSALO (1916): Lehtikuusenviljelys Suomessa.

6.

YRJÖ HARVIA (1916): Suomen kaupunkien metsät.

7.

S. E. MULTAMÄKI (1916): Metsälaiduntamisesta ja hakamaiden hoidosta.

8.

K. E. LINDBERG (1917): Svensk och norsk flottningslagstiftning och flottningsförhållanden.

9.

THOM. CANNELIN (1917): Svedjebrukets betydelse för våra skogar, för land och folk.

10.

AARNE BOMAN (1919): Metsäkonduktöörit. Ylimääräisten metsänhoitajien asema ja toiminta. Kesällä v. 1917 toimeenpantuun kiertokyselyyn perustuva tilastollinen tutkielma.

11.

A. BENJ. HELANDER (1919): Pihkanjuoksutuksesta Liettuassa, Puolassa ja Saksassa tehtyjen havaintojen mukaan.

12.

ERKKI LAITAKARI (1923): Katsaus eri maiden metsälainsäädäntöön.

FOREST RESEARCH WORK IN FINLAND

THE ORIGINS
AND DEVELOPMENT OF FOREST RESEARCH WORK

AND

A REVIEW OF THE INVESTIGATIONS CARRIED OUT
UP TO DATE

BY

LAURI ILVESSALO

HELSINKI 1926

HELSINKI 1926
PRINTED BY THE PRINTING OFFICE OF THE FINNISH LITERARY SOCIETY

Preface.

The results of the forest research work carried out in Finland have been published for the most part in Finnish (with German summaries) or in German, which has rendered it difficult for the Anglo-Saxon world to take cognizance of them. It has, therefore, appeared necessary to compile a short review, in English, of the origins and development of forestry research in Finland, and of the investigations carried out hitherto. The present publication attempts to serve this purpose.

Of course, in a brief sketch like this it has not been possible to pay attention, to any great degree, to quite small studies, published, for instance, as articles in periodicals. Likewise such earlier investigations, particularly the smaller ones, as at present possess only a historical value, if even that, have mostly been left unmentioned.

In the review itself the titles of the investigations have been given in English translations, but in the catalogue at the end the title of each publication is easily found in its original language, as well as other particulars, such as the series of the transactions (as well as the volume) in which a publication is contained, the year of publication, the number of pages (and tables, plates, maps and other appendices), and when an investigation is furnished with a summary in English, French or German, the number of pages of the summary is also stated.

Helsingfors, May, 1926.

The Author

Contents.

	Page
The Origins and Development of Forest Research Work in Finland	7
The Early Stages	7
The Transfer of Higher Forestry Education to the University of Helsinki and the Establishment and Work of the Society of Forestry in Finland	12
The Establishment and Activity of the Forest Research Institute	18
The Division of Work between the Society of Forestry and the Forest Research Institute	22
Other Forest Research and Publication Work	23
A Review of the Investigations Carried out up to Date	26
1. Biological and Silvicultural Investigations	26
Forest Types and Investigations with Regard to them	27
Investigations Concerning the Forest Soil	30
Investigations Concerning the Biology of the Native Forest Trees	31
Investigations of the Tree Roots	33
Heredity Investigations	34
The Cultivation of Foreign Species of Trees	35
Investigations Concerning Silvicultural Methods	36
Investigations into Forest Injuries	38
Forest Grazing Investigations	40
The Problem of Protection Forests	41
Swamp Investigations	41
2. Investigations Concerning Forest Mensuration (with Forest Valuation) and Forest Policy	45
Application of Mathematico-Statistical Methods to Forest Research Work	45
Investigations Concerning the Form of Trees	48
Investigations Concerning the Growth, Development and Structure of the Forest Stands	48
Forest Resources and General Conditions of Forestry	50
Forest Consumption and the Relation between Growth and Consumption	53
Investigations Concerning the Forestry of Various Owners' Groups	54
Investigations into the Wood Working Industry and Wood Working Companies	56

Investigations into the Export of Forest Products and the Export Duties of the Forest Products 58
Investigations into the Development of Timber Prices 59
Investigations Concerning Forest Legislation 60
Investigations into the Distribution of the Fertile Soil 60
Investigations into Settlement Conditions and the Settlement Policy 61
Investigations into the Land Granting Policy of the State 62
3. Investigations Concerning Forest Utilization 63
Catalogue of Investigations Referred to in the Text 65
Personal Index 80
Appendices:
1. *Acta Forestalia Fennica* Vols. 1—30 (1909—1926), Table of Contents .. 83
2. *Communicationes ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae editae* Vols. 1—10 (1919—1926), Table of Contents 90

Abbreviations.

A.F.F. = Acta Forestalia Fennica.
A.S.F.F.F. = Acta Societatis pro Fauna et Flora Fennica.
Cs.I.F.F. = Communicationes ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae editae (Publications of the State Forest Research Institute of Finland).
Erikoistutk. = Erikoistutkimuksia
Specialund. = Specialundersökningar } »Special Investigations» published by the Finnish Forestry Association.
F.F.M. = Finska Forstföreningens Meddelanden
S.My.J. = Suomen Metsänhoitoyhdistyksen Julkaisuja } (Proceedings of the Finnish Forestry Association.)
Mets. Aik. = Metsätaloudellinen Aikakauskirja—Forstlig Tidskrift (Review of Forestry).

The Origins and Development of Forest Research Work in Finland.

The Early Stages.

Young as *purposeful* forest research work in Finland is, the importance of the scientific interpretation of forest and forestry questions was, nevertheless, recognized very early. The first, although very modest, attempts in the field of forest research work were made during the eighteenth century already, during the so-called economic or utility period, the distinguishing characteristic of which was the raising of the standard of living and the improvement of economic conditions in the country. Especially professors P. KALM (Professor of Economics from 1747) and P. A. GADD (Special Professor of Chemistry and Economics from 1758, later regular Professor of Chemistry and Director of Plantations) of the University of Turku, and their numerous pupils, published several treatises on native and foreign species of trees and on subjects in the domain of silviculture and forest utilization. KALM and GADD also carried out in Turku and its vicinity experiments with the cultivation of foreign tree species especially of American ones, the seeds of which KALM brought with him in great numbers, when he returned home from his research voyage to North America (1747—1751). These investigations and cultivation experiments — measured according to modern standards — did not, however, have any great scientific or practical value worthy of mention, interesting as they are from the historical point of view. The interest that was awakened in economic investigations by KALM and GADD relaxed rapidly during the time of their followers and the experimental plots which they had established, and which the extraordinarily severe winters treated roughly, became dilapidated.

Not until the middle of the last century, in connection with the amendment of the forest laws and the arrangements for establishing a State forest service as well as the planning of a higher forestry education, did interest again become centred in forestry investigations and experiments, too. Thus, in the first regulation of 1859 for the Forest Service the establishment of a »model park» was laid down in each province, wherein was to be effected »concomitantly with management the provision of foreign tree species for naturalization in our country, and the chemical and mechanical treatment and manufacture into tools of the raw materials of the forest». Likewise, in the first regulation of the Evo Forest Institute, ratified in 1860, it was prescribed that this first forestry school of Finland should institute cultivation experiments with native and foreign tree species in the forest assigned to it as an instruction forest.

The establishment of model parks was not realized in practice; but, on the other hand, experiments were started in the Evo instruction forest. During the first years of operation of the Forest Institute comparative experiments were made in forest seeding and planting methods, and a few years later experiments were started for the formation of woods by aid of cultivation by burning. The latter-mentioned method afterwards came into relatively general use at Evo, and became usual elsewhere in Finland as well. The experiments with foreign tree species, implied in the regulations, were also started during the eighteen-sixties. First, for experimental purposes the European and Siberian larches *(Larix europaea, L. sibirica)* were taken with which a certain amount of previous experience existed in Finland *, and insofar as seeds of other species of trees became available from foreign countries the experiments were conducted with more numerous species: during the eighteen-seventies with *Pinus cembra sibirica* and *Abies sibirica;* during the eighties with *Abies balsamea* and *A. pectinata*, *Pinus strobus* and the oak *(Quercus pedunculata)* which was not a native of Evo; dur-

* In 1738—1921 the well-known larch forest of Raivola had been established by order of the Russian Government, and in the eighteen-forties two larch forests had been established by private interests.

ing the eighteen-nineties with *Pinus montana* and *Picea alba* and a few other North American species, certain Japanese tree species, etc. Already during the eighteen-sixties and seventies prunings and thinnings, as well as various reproduction cuttings were practised, and during later times the drainage of swamp lands was instituted.

It is to be regretted that the results of these experiments were scarcely ever published, unless we take into consideration a few reports of a more or less temporary character that were made public in the publications of the Finnish Forestry Association (Finnish: Suomen Metsänhoitoyhdistys). Only after the closing of the Evo Forest Institute in 1908, in some investigations, descriptions were given of the results of cultivation experiments with foreign tree species and of burn culture.

The Evo Forest Institute was closed from 1866 to 1874 for lack of students, and when the Institute was re-opened after this eight year period of inactivity the instruction was considerably restricted: »the higher scientific subjects of study» were ordered to be excluded and the instruction from henceforth had to be mainly along practical lines. In some measure, this compulsory lowering of the scientific standard of instruction, combined with other factors, primarily the remote location of the Institute, was instrumental in preventing the Evo Forest Institute ever becoming a centre of forest research work. A few meritorious investigations, however, came from the pen of Dr. A. G. Blomqvist, the Director of the Institute for many years, of which the most important are: the fairly original yield tables *Yield Tables, Showing the Development of Even-aged, Fully-stocked Pine, Spruce and Birch Stands* [1] (1872, in Swedish *); *A Treatise Describing the Diameter Growth of Pine and Spruce Saw Timber in Different Parts of Finland* [2] (1897, in Swedish); and two valuable monographic studies describing the principal tree species of Finland, *The Tree Species of Finland Described from the Forestry Point*

* Later, T. Heikkilä re-compiled these tables and published them under the title *Yield Tables for our Principal Tree Species: Pine, Spruce and Birch* (Erikoistutk. 2, 1914, 35 pages. In Finnish).

of view: I. The Pine, II. The Spruce[3] (1881 and 1883, in Swedish), as well as a study in forest politics, *Forest Economics and Points in Forest Policy*[4] (1893, in Swedish). All these publications, however, had a more or less temporary character. An even more incidental meaning is attributable to the minor investigations which the instructors of the Institute, Messrs. K. O. ELFVING, K. T. NYHOLM, Y. E. RAINIO and others published. * Mr. J. I. LIRO (LINDROTH) who was the natural science lecturer of the Forest Institute during its last years, published a few important plant-pathological investigations which were directed either altogether or partly to the destructive fungi of forests.

A certain number of forestry experiments and investigations, even though mostly fairly unpretentious, were made at the Mustiala Agricultural Institute, where an agricultural experiment station was operating for two decades from the year 1881. The experiments were made in the forest department of the experimental station by the forestry instructors of the institute, Messrs. A. BORENIUS, TH. CANNELIN and L. STENBÄCK. These experiments, the results of which were partly published in the »Bulletin of the Board of Agriculture» and partly in forestry periodicals, were mainly concerned with the temperature conditions obtaining under different species of trees compared to the temperature of forestless soil, the effects of clearing on the growth of sprouts, the significance of thinnings, burn culture, the cultivation of foreign tree species, the effects of the soil-covering on the germination of the seeds of trees, the detrimental effects of grazing, tar-distilling, the heating efficiency of different species of trees, etc.

Certain experiments belonging to the sphere of silviculture, such as the reafforestation of clearings on burned heaths, cultivation experiments with foreign tree species, swamp drainage, etc., were instituted by the Board of Forestry already during the eighteen-sixties and seventies in the State forests in different parts of the country. The results of the

* The same may be said of the contemporary small articles published by certain forest officers, of which may be mentioned ALBERT SIVÉN's numerous writings on the cubing and growth of trees.

reafforestation experiments were described by Messrs. T. J. Blomqvist and K. O. Elfving.

We can also not refrain from mentioning that several investigations were made already some decades ago in the field of certain sciences closely allied with forestry, which are of importance to forest sciences as well. Especially worthy of mention are: Professor J. P. Norrlin's researches in plant geography *, from which developed forest and swamp type investigations carried out later in Finland and which have attained an important scientific and practical significance in forestry; Professor A. O. Kairamo's (Kihlman) valuable investigation, *Plant Biological Investigations from Russian Lapland* [5] (1890, in German.), in which such fundamental questions in forestry as forest limits against tundras are considered, and Professor Theodor Homén's night frost investigations **; which apply in the first place to agriculture, but also have an important silvicultural meaning. Besides these, certain botanical publications of Messrs. Hjalmar Hjelt and R. Hult deserve to be mentioned, especially Hjelt's *Conspectus Florae Fennicae* [6] (1888—1926) and *The Distribution of the Trees, Shrubs and Dwarf-shrubs in Finland with Special Regard to their Limits* [7] (1897, in Swedish) as well as Hult's *The Distribution of the Ligneous Plants in Finland* [8] (1896, in Swedish) and *Plant Geographical Notices from the Forest Regions of the Finnish Lapland* [9] (1898, in Swedish). The fungus investigations of P. A. Karsten ** also have a significance for the knowledge of the destructive fungi of forests.

* The most important of these investigations, which originally appeared in Swedish, were published in German after the death of Norrlin, by order of the Society of Forestry in Finland in Acta Forestalia Fennica, volume N:o 23. The same volume contains A. K. Cajander's review of the life work of Norrlin in the form of a memorial address, and Cajander's paper, *Einige Hauptzüge der pflanzentopographischen Forschungsarbeit in Finnland* (Some Main Features of the Plant Geographical Research Work in Finland). See also Cajander's: *Ein pflanzengeographisches Arbeitsprogram in Erinnerung an Johan Petter Norrlin* (A Plant Geographical Working Program in Memory of Johan Petter Norrlin), A. S. F. F. F. 49: 4, 1921.

** Appeared in the publication serial of the Finnish Society of Science.

The Transfer of Higher Forestry Education to the University of Helsinki and the Establishment and Work of the Society of Forestry in Finland.

It has been mentioned in the foregoing that the Evo Forest Institute was closed in 1908. A few years previously, additional instruction staff had been granted to the Institute, so that the instruction could be made more diversified; but these measures were only temporary, as the days of the Institute were already numbered. For it had become apparent that it was extremely difficult to attach a sufficient number of capable instructors permanently to such an out-of-the-way wilderness as Evo, in addition to which the equipping of the Institute with satisfactory instruction and investigation facilities also met with great difficulties. The thought slowly ripened and gained an increasing amount of general support that higher forestry education should be transferred to the University of Helsinki, which, because of its location in the capital city, in this respect had altogether different advantages to Evo. This idea, for which, too, the Director-in-Chief of the State Forestry Department of that time, Mr. P. W. HANNIKAINEN, worked ardently, was eventually realized in 1908.

The transfer of higher forestry education from Evo to Helsinki had an important bearing not only on such education and through it on the forestry of Finland, but also, in some measure directly and in part indirectly, for the forest research work of Finland, to which possibilities of development were thus opened for the first time. Both the teachers and the students were thus removed from the cramped and isolated surroundings of Evo to the comparatively broader scientific environments of the University City, where possibilities of intercourse with students of other sciences existed. In addition to the mainly professional library of the Forestry Institution of the University, the relatively well equipped library of the University, as well as the valuable libraries of several scientific societies and institutions were at their disposal. The interest in the deeper study of forestry, and in connection with it in independent forestry research work, was stimulated by the fact that it was possible, besides completing the forestry course and

examinations for the preparation of forest officers, also to take the examinations for the Master and the Doctor degrees in forestry. The immediate stimulating effects upon forestry research work from the transfer of higher forestry education would, however, not have been felt as soon as they were, if the first incumbent of the professorship in forestry had not been a person who had highly special qualifications for the position, special lecturer Dr. A. K. CAJANDER, who for a short time at Evo already had been engaged as a lecturer and a temporary director of the forest institute. He had received a many-sided and thorough education in natural sciences and forestry, both at home and abroad, and during his extensive research journeys in Europe and Asia he had become acquainted with both cultivated forests and primeval natural forests, in addition to which he possessed a rare ability for inspiring his pupils for scientific research work and for keeping this enthusiasm alive and directed into proper channels.

Indirectly, the transfer of higher forestry education from Evo to Helsinki stimulated forestry research work through the fact that this change also brought about the establishment of a special scientific forestry society in Finland.

Professor CAJANDER, on whose initiative this association, the Society of Forestry in Finland (Finnish: Suomen Metsätieteellinen Seura) was established, states the following reasons for its organization: *

»Those persons, to whom the representation of forestry in the University had been entrusted, felt the obligations of their duties too heavily to venture to carry them alone. There were altogether too many unexplained problems, so that they alone could not find sufficient time for the study and solution of these questions; additional forces were needed. The Geographical Society of Finland as an example seemed to point in which direction it should occur. Scientific work is practised

* A. K. CAJANDER: *A Review of Forestry Research Work in Finland* (Discourse, delivered at the tenth annual meeting of the Society of Forestry in Finland). Contained in the publication: Suomen Metsätieteellisen Seuran toiminta 1917—1920 (The Work of the Society of Forestry in Finland, 1917—1920), A.F.F. 14, 1920, p. 59—68 (in Finnish).

by many others besides those who are professional scientists; for, finally, what else is scientific work but the critical elucidation of problems as they appear. — — — It seemed desirable to marshal together those forces that in different directions, and often without knowledge of each other, were working for the same, common ends.

But there were other reasons as well. Above all, experience had shown that scientific societies have a very important educational meaning. Young novitiate scientists have occasion to hear lectures from the most diversified branches of their science at scientific associations, and thus to obtain numerous new incentives. There they have occasion to present the results of their studies to others as well, to obtain their approval, and when necessary, criticism from other sources than from their own instructors. Such things are conducive to continued and still better investigations. — — —»

After the question of establishing a forestry society had first been discussed in private circles, the constituent meeting was held on April 29th, 1909. According to the statutes adopted, the purpose of the Society of Forestry in Finland is: »to work for promoting the development of forestry in Finland by being the connecting link between those persons who investigate forestry and its principles in the country, and its relation to other branches of economics». This purpose was to be achieved especially by: 1) gathering information pertaining to the field of activity of the Society from the different parts of the country; 2) granting assistance for forestry experiments, excursions, research journeys, and other forestry investigations; 3) issuing publications, and 4) holding meetings.

At the commencement of the activities of the Society of Forestry in Finland its working forces were very few in number; but this deficiency dissappeared in time, especially after the Society commenced to get diligent members from among students in forestry circles, who were inspired in forestry research work. The lack of funds was of a much more serious character, and it embarrassed the activity of the Society to a very great measure during the first years. For the Russian Government of that time refused to recognise the repeated petitions of the Society for State support, such as other scientific societies received for

their work; and since the Society was young and relatively little known, no financial assistance was to be had from private sources either. During the first years in these circumstances no scholarships could be granted to young scientists, for instance; nor could even the manuscripts be published that were submitted to the Society. If Professor CAJANDER — who during these difficult years with unrelaxing energy kept the interest in forestry research work alive in the circles of the Society, looked after the programs for the meetings of the Society, and tirelessly searched for subsidiary resources for it — had not been elected as the first secretary of the Society, its work undoubtedly would have become completely paralyzed. With trust in the dawn of better times, the work of the Society was continued uniterruptedly, even though in a very unpretentious form, mainly by gathering together for meetings several times a year, where lectures were given in forestry and other allied sciences.

Not until 1913 did the economical position of the Society begin to improve owing to the efforts of the Secretary. During this year the Society was granted Fmks. 3,000 from the LÄNGMAN Endowment Fund which is administered by the Diet. A little while before, the Government had granted the Society permission to print their more important publications free of charge in the Government printing office. It thus became possible for the Society to make public the first two volumes of its publication series, *Acta Forestalia Fennica.* During the same year the Diet petitioned that Fmks. 14,000 ($ 2,617. —) should be annualy appropriated from the State funds for the use of the Society. Although this petition was disregarded in high places, it nevertheless had the encouraging significance that the Diet had acknowledged the importance of the Society's work. The Government also considered it possible to recognize the Society by including a Fmk. 1,000: — appropriation for the Society in its budget. In spite of the repeated petitions of the Society, this small state support was not increased later, as long as the Russian Government forces were in power in Finland. A great help to research work during these difficult times was the fact that the Director-in-Chief of the Board of Forestry, P. W. HANNIKAINEN, at-

tempted to arrange opportunities for research work for young foresters in connection with their regular duties as far as it was possible.

In 1914 the Society received Fmks. 25,000: — from the Endowment Fund of Trade-councillor O. A. MALM for the preparation of growth and yield tables for the main tree species of Finland, and two years later certain companies in the wood-working industry donated Fmks. 10,000: —. Broader fields of operation opened up now to the Society for the first time. In addition to being able to print a few *Acta* volumes again, it also became possible for the Society to commence the printing of the minutes of its meetings including summaries of lectures, and to grant fellowships for forestry research work as stipulated in the statutes. An even happier turn of events was brought about in 1917, when Finland attained freedom from the oppression of czarist power and could decide its own affairs independently. During the same year the Society of Forestry was granted Fmks. 7,000: — in the budget, and commencing with the next year the Society was permitted to enjoy a Fmks. 14,000: — annual subsidy until this support was increased in to 1923 Fmks. 75,000: — upon the depreciation of Finnish currency. In addition to this the Society has continued to receive private donations occasionally, which during the years 1917—1925 amounted to 134,000 Finmarks. These private donations, however, have been restricted to small amounts during the last few years, when the general economic conditions in Finland became strained. As the printing expenses of the Society, as well as the expenses incidental to the exchange of publications, have increased considerably during the same time, the Society has been forced to petition for an increase in the State allowance. And recently it has been increased to Fmks. 100,000: — ($ 2,519. —) a year. The main part of this is to be used for the printing and exchange of publications; only a very small share is left for research fellowships, and they thus are rarely larger than 2,000 or 3,000 Finmarks. Under these conditions there can, of course, be no question of a subsidy for research journeys to foreign countries.

The membership of the Society at present (1926) is 133; in addition, the Society has numerous correspondent members abroad and has be-

stowed honorary membership on several merited scientists at home and abroad. * The Society is in communication with more than 200 home and foreign scientific institutions, societies, periodicals, etc. The investigations are published in the serial of the Society, *Acta Forestalia Fennica*, either in a well-known language or in Finnish (or Swedish); in the latter case a summary of the investigation in some well-known language is attached to the report.

The following figures may be given as illustrative of the work of the Society of Forestry:

Years of activity	Meetings held	Lectures at meetings	Number of issued volumes of Acta	Investigations in the Acta.
1909—1914	29	58	2	5
1914—1919	24	55	7	16 **
1919—1924	42	69	17	74 ***
1924—1926	13	22	4	14

If the work of the Society of Forestry is compared to the work of other scientific associations in the country during the period after the Great War, there cannot possibly be any difference of opinion on the fact that the activity of the Society, in so far as the productivity of the work is concerned, must be placed among the first Societies. Above everything, it must be placed to the credit of this society that forest research work has developed from almost nothing to a very promising beginning during the short period of about fifteen years. The Society of Forestry has thus occupied a central position in the wide field of forest research work in Finland. The Society, on its own behalf, feels indebted above all for this achievement to its organizer and spiritual leader, Pro-

* The secretaries of the Society have been Prof. A. K. CAJANDER 1909—1917, Forest councillor O. J. LAKARI 1917—1922, and Professor YRJÖ ILVESSALO 1922—. The chairman is changed every year.

** And the minutes of the meetings of the society with added short reviews of the lectures for the years 1909—1917.

*** And the minutes of the meetings of the society with added short reviews of the lectures for the years 1917—1920.

fessor A. K. CAJANDER. »All that has been carried out in the Society grows up of his sowing, gets its nourishment from his sources of knowledge.» *

The Establishment and Activity of the Forest Research Institute.

A long time even before the establishment of the Society of Forestry the idea of founding a forest research institute in Finland had been awakened, although this idea was not realized until several years after the establishment of the Society of Forestry.

The essential need of a forest research institute was, perhaps, first mentioned at a private meeting of Finnish forest officers in 1866. The matter was discussed again at the inaugural meeting of the Finnish Forestry Association held at Hämeenlinna in 1877, and subsequently it was under consideration many times in the meetings of this association, finally culminating in the fact, that the Association proposed the establishment of a forest research institute to the Government in 1900. The committee appointed by the Government in 1896 to study the condition of private forests also proposed the establishment of a forest research institute in 1898. This proposal was further supported in the report issued in 1900 by the committee appointed by the Government in 1896 to consider arrangements for State forest administration. The proposals of the committees differed in that respect, however, that the private forest committee suggested the establishment of a forest research institute in connection with the Evo Forest Institute, whereas the State forest committee that in its report proposed the transfer of higher forestry instruction from Evo to the University of Helsinki, was of the opinion that forestry research work should be installed as a separate department of the agricultural research institute. Mainly for the reason that the re-arrangement of higher forestry education thus became the order of the day the first preliminary steps of the Government to hasten the decision in the question of establishing the institute were not taken

* The words of Dr. A. PALMGREN at the tenth annual meeting of the Society of Forestry.

until 1906, when the Government, at the suggestion of the Board of Forestry *, appointed Dr. A. K. CAJANDER to study the organization of forestry research work in foreign countries and to draw up a proposal for establishing a forest research institute in Finland. The result was an extensive, detailed publication by CAJANDER, *Forest Research Work in Foreign Countries and a Proposal for its Organization in Finland* [10] (in Finnish), which appeared in print in 1909. ** After detailed argumentation it was proposed in this publication to establish in Finland a forest research institute, administratively under the Board of Forestry, but internally independent, which would have its own research workers, free from instruction and administrative duties. The regular officers of the Institute were to comprise three investigators, their fields of research being silviculture, forest production, and forest soil science. It was further conditioned as possible to install special investigators as well as assistants and clerical help in the Institute.

During the same year the Government appointed a committee to draft the requisite, detailed proposals for the establishment of a forest research institute. The report of the committee, which was completed in 1913, was mainly along the same lines as CAJANDER's; but as the committee was cognizant of the fact that on account of lack of competent working forces the work of the forest research institute could not be established without delays on such a broad scale as the proposals of the committee suggested, the committee proposed to establish a temporary forest research institute at first, to which were to be appointed as temporary investigators three capable foresters who were versed in scientific work. The proposal of the committee was supported by the Council of the University, the Board of Forestry, and foresters, and it generally was hoped that the Institute could commence its activities at the beginning of 1915. The exceptional conditions obtaining during the Great War, however, frustrated these hopes, and the establishment of the Institute seemed to be postponed to the indefinite future.

* The initiative in the matter was taken by the then Director-in-Chief of the Board of Forestry, Mr. P. W. HANNIKAINEN.

** The foregoing description of the early phases of forest research work in Finland is founded for the most part on this publication.

But the delay this time was shorter than was anticipated. The Russian Government fell in 1917 and the new native government hastened to realize the establishment of a forest research institute besides other measures of reform. The statutes for the establishment of the Institute were issued on October 24th of the same year, and the Institute commenced its activities on July 1st, 1918.

The Forest Research Institute of Finland is a research academy of forestry that is separated from the forestry education. * Its purpose, according to its regulations, is »by investigations and experiments to elucidate the fundamentals of rational forestry and those facts upon which the forest productivity of Finland depends». For the present there are three departments: Department of Silviculture, Department of Forest Mensuration and Valuation, and Department of Forest Soils, each of which is represented by a professor. ** Their qualification requirements are the same as those for the professors of forestry in the University of Helsinki. They must above all be scientifically versed foresters, but at the same time also acquainted with practical forestry. They must show their scientific competence in their own field of research, in addition to required examinations, also by publications based on independent research; and further, through their publications they must show their ability to apply the results of their investigations to practical forestry. In addition to the professors the Government is authorized to call other persons, too, for a certain time to the institute in order to carry out special investigations. Each professor has an assistant working more or less independently; and there is, of course, a sufficient

* This, of course, does not prevent the investigators of the Institute from acting as docents or special lecturers of the University or the Technical College in connection with their regular duties, as has happened in the past.

** The committee appointed by the Government in 1917 to draft proposals for re-organizing the management of State forests proposed in its report published in 1920 that a fourth professorship should be established in the Institute, the occupant of which would have forest statistical research as his special subject, but this proposal has not yet reached practical action. A forest utilization department, the necessity of which has been recognised in several quarters, is also still unestablished.

number of helpers at the Institute for calculation and other purposes. Administratively the Institute is under the Board of Forestry, but in practice it is fairly independent. Thus it has its own Board of Administration which is composed of its professors and those professors of forestry at the University of Helsinki whom the Government has appointed to this position for a definite period of time. The Board of Administration chooses a Director from among its own members for a term of three years. * Each professor is generally permitted to choose the subjects of his research and they, as well as the assistants, publish the results of their investigations under their own names.

The Forest Research Institute is located in Helsinki, but for its use experimental forests have been set aside, for the present altogether 17, in the State forests in different parts of the country. The purpose is to handle the experimental forest as a model forest **, where various kinds of experiments in forestry are made conjointly with silvicultural measures. Some areas, especially small ones are partly nature protection districts, however. The area of the forests varies considerably: the largest is 40,000 acres (16,500 ha), the smallest only 15 acres (6 ha). The aggregate total of their area is 133,000 acres (53,700 ha). The Director of the Institute has special forest officers as assistants in tending them, and in the larger experimental forests foresters who have passed an elementary forest school. The Research Institute is entitled to make investigations and, if necessary, fell trees for this purpose (with the permission of the Board of Forestry) and carry out experiments, too, on other State owned forest lands than the experiment areas. The estimated expenditure for the Institute for the year 1926 was Fmks. 670,500 ($ 16,890. —);

* The professor of the Department of Silviculture, Dr. OLLI HEIKINHEIMO has acted as director for the whole time. The position of the professor of the Department of Forest Mensuration and Valuation has been filled by Dr. O. J. LAKARI (temporary) 1918—1922 and Dr. YRJÖ ILVESSALO since 1922. The professorship of the Department of Forest Soils has not yet been filled ordinarily; the duties are discharged by Dr. V. T. AALTONEN since 1923. Dr. VÄINÖ AUER acts as a special investigator for swamp problems.

** The idea of »model parks» has thus been realized in this form — seventy years after it was first started.

the expenses arising from the administration and care of the experimental forests are included in the expenditure estimates for the State forests.

During the short time that the Forest Research Institute has been in existence it has succeeded in accomplishing many visible results. A considerable number of investigations have been made, among them a general survey of the forests of the country, which was started in 1922 and is now completed. Recently, cultivation experiments were started in the experimental forests with native and foreign species of trees, as well as reproduction cuttings, swamp drainage and other experiments; numerous permanent thinning and other experimental plots have been established. In some experimental forests these kind of experiments have been in existence for some time past. Ten volumes of the publication series of the Institute, »*Communicationes ex Instituto quaestionum forestalium Finlandiae editae*», containing 33 investigations and a review of the establishment and work of the Institute for the years 1918—1920, have appeared up to the present time. The investigations are published either in Finnish or in some well-known language; in the former instance a summary is appended to each investigation in some well-known language, in the latter instance a synopsis in the Finnish language. The Institute exchanges publications with numerous home and foreign scientific institutions, societies, etc.

The Division of Work between the Society of Forestry and the Forest Research Institute.

In his publication previously mentioned, »Forest Research Work in Foreign Countries and a Proposal for its Organization in Finland» CAJANDER had expressed the opinion that two organs for carrying on forest research work should be established in Finland: a forest research institute and a forestry society, which idea was realized later as we have seen above. A State-maintained forest research institute was indispensable in order to make investigations that comprise large areas or imply experiments of long duration, since experiments of this nature that are beyond the powers of private investigators, are numerous

in forestry because of its special character. On the other hand, the forestry society was necessary to awaken and keep alive the interest in *independent, private* research work, to support this work with endowments, and in some measure to organize it and to publish the results of such investigations. »Going hand in hand, complementing each other, they can advance forest science, and with it also practical forestry, in the best manner in our country.»

In its main features the division of work has developed in practice in this manner between these two organs of forest research work, and experience has shown that CAJANDER's conception of the appropriateness of dividing the work in this way was correctly conceived. Many more investigations have been made and the research work has become more diversified than would have been the case, if research work had been monopolized only as official work of the State Forest Research Institute; and all this has been attained at relatively little extra cost. The friendly spirit which obtains between the Society of Forestry and the Forest Research Institute is reflected in the fact that the officers of the latter have generally given lectures at the Society of Forestry on the results of their investigations and many of them have acted in positions of trust in the Society.

Other Forest Research and Publication Work.

During the first years of this century, or already several years before the establishment of either the Society of Forestry in Finland or the Forest Research Institute, the then Chief Intendant of the Board of Industry, Mr. A. F. TIGERSTEDT, started far-reaching cultivation experiments with foreign species of trees on his Mustila estate at Elimäki (in South Finland). These experiments, which comprise about 200 different species at present, differ from many other corresponding experiments by the fact that they are severely on a scientific basis, even though their purpose is purely practical. Great care has been given to climatic conditions in the choice of the tree species for experiment; and in procuring seed, to their source. In the same manner, in choosing

the sites for the experimental culture and methods of formation and tending, an attempt has been made to satisfy as far as possible the biological characteristics of each species of tree. In order to obtain comparative results, parallel experiments were started with native species of trees. A careful record has been kept of the development of experimental cultures thus established; in this, as in all other experimental work, the Manager of the Mustila estate, Mr. C. G. TIGERSTEDT, has efficiently assisted his father almost from the beginning. With unequalled sacrifices and with interest in the cause an arboretum has thus been created that in its dimensions (about 250 acres or 100 ha) as well as for its scientific and practical value is the only one of its kind in all Northern Europe. The results of the culture experiments up to the present time (with regard to coniferous trees) are recorded in his publication mentioned on page 36.

Besides the culture experiments of Mustila, the culture experiments, although on a much smaller scale, of native and foreign tree species instituted by Forest Master TORSTEN RANCKEN in the forests owned by the Karl Forsström Company at Finby (coast of south-west Finland), also the foreign tree species culture experiments of Professor G. KOMPPA at Tammisto in Karjalohja, and those of Senator A. OSW. KAIRAMO at Pekola in Hattula are worth mentioning. In the Korkeakoski Forest, which has been given to the University as an instruction forest for forestry teaching, both native and foreign species of trees, especially pine, have been sowed and planted on an extensive scale, as well as the carrying out of swamp ditching, various silvicultural reproduction cuttings, etc. These, however, are done in the first place as practical training for the students. In the forests of several industrial companies and large estates also, as well as in the instruction forests of elementary forest schools, experiments are carried out in forest culture and swamp drainage, more rarely, however, on a purely scientific basis.

In the Wood Research Department of the Central Laboratory of Industry (in Helsinki) and in the Wood-Chemical Department of the Åbo Academy (in Turku) experiments and investigations are made in wood chemistry. Their results are published in the series *Meddelanden*

från Industrins Centrallaboratorium — Teollisuuden Keskuslaboratorion Tiedonantoja (Proceedings of the Central Laboratory of Industry) and *Acta Academiae Aboensis.*

The Finnish Forestry Association has supported investigations in forestry by endowments and published their results in its series, *Erikoistutkimuksia* (Special Investigations) (years 1914—1923, 12 volumes, one investigation in each volume). Many of them are papers written for academic degrees. And further, the Finnish Forestry Association Tapio has also published a few forestry investigations. The Finnish Academy of Science (Suomalainen Tiedeakatemia) has likewise at times assisted forestry investigations and published a few investigations in its *Annales.* Several investigations closely allied to forestry research and a few investigations pertaining altogether to forestry have appeared in the series *Acta Societatis pro Fauna et Flora Fennica* of the Societas pro Fauna et Flora Fennica, and also in the serial *Fennia* of the Geographical Society of Finland (Suomen Maantieteellinen Seura). Many committees appointed by the Government have elucidated important questions in forestry and often published reports on them comparable to forestry investigations.

A Review of the Investigations Carried out up to date.

In the forest research work, so far carried out in Finland, an effort has been made to direct attention mainly to questions, which are of actual practical importance to the forestry of Finland. These researches are mainly of a comparative kind, whilst experimental researches, demanding plenty of funds as well as plenty of time, have so far only been carried out on a small scale. Those already previously described far-reaching experiments of TIGERSTEDT with the cultivation of species of trees deserve, however, to be mentioned, as well as those numerous experiments, commenced during the last few years by the Forest Research Institute.

The forestry researches carried out in Finland may be combined into three groups: 1) biological and silvicultural investigations, 2) those dealing with forest mensuration (and forest valuation) and forest policy, and 3) those concerning forest utilization. The last-mentioned group, however, is so far only scantily represented, mainly for the reason that the comparatively expensive means of investigation (laboratories and apparatus) required by research work of this kind have been wanting.

1. Biological and Silvicultural Investigations.

The guiding idea of the biological and silvicultural research work has been that the silvicultural science — apart from the purely technical tasks of silviculture as, for instance, cutting of trees, ditching, etc. — is principally a plant biological science and that the silvicultural investigations should, consequently, above all develop on plant biological lines and plant geographical lines closely allied to the latter. These investi-

gations have thus, at the same time, essentially also been botanical investigations. However, their final object has been practical silviculture, and to bring the latter on to a firm biological basis.

Forest Types, and Investigations with Regard to Same.

When forest research work during the first decade of the present century was beginning to make a proper start in Finland, the most essential task was to bring about a reliable and, as far as possible, also a natural site (locality) classification that would satisfy the needs of forest research activity as well as those of practical forestry. This task was accomplished by A. K. Cajander's research *Forest Types*[11] (1909, in German), describing the classification of sites, based on the so-called forest types. After having studied plant geography under the guidance of Prof. J. P. Norrlin (see p. 11), Cajander had in 1903 turned to forestry. As a plantphytologist he had particularly studied plant communities, and it was only natural that he, after having turned to forestry and becoming acquainted with the old, natural way in Finland of classifying lands (as »dry heath», »fresh heath», etc.) began to ponder, whether it would not be possible to arrive at a more exact classification of these on the basis of the plant topography that had been developed by Norrlin. The thought came readily that the forest plant communities would afford a method for the classification of forest sites. For solving this question he carried out fundamental investigations, principally in the forests of South and Central Germany in 1906 and 1907, and supplementary ones in his own country in 1907 and 1908, and the positive result of these was his publication mentioned above. This work became the foundation of and impetus to the research work on forest types in Finland, the results of which have been made good use of both by forest science and practical forestry in Finland. Thus in the forest researches in Finland, the classification of sites is exclusively used on the basis of forest types, and since 1914 it is used during the mapping and surveying of the State forests. It has gained a still larger application in the forest statistical elucidation, as is, inter alia, proved by the fact that the forest types served as a basis for the classification of forest lands

during the general forest survey in Finland of 1922 and 1923. The results of several researches suggest that forest types also adapt themselves as a basis to applied silviculture.

The theory of forest types has been further developed by CAJANDER in the publication *Forest Types II*[12] (1921, in German), and particularly in his recently published work *The Theory of Forest Types*[13] (1925, in Finnish; 1926, in English) where the theory of forest types appears in a still wider scope, offering new notable opportunities not only to forestry, but also to the history of settlement and civilization, as well as to the settlement policy and international silviculture. The object of the forest types is shortly explained in CAJANDER's paper *What is the Scope and Aim of the Forest Types?*[14] (1923, in German). *

The forest type researches of CAJANDER supplement in many respects the investigations of some other researchers, among which might be mentioned K. LINKOLA's *Studies of the Influence of Culture on the Flora of the Region North of Lake Ladoga I—II*[15] (1916 and 1921, in German), *Observations Concerning the Forest Types of Eastern Carelia*[16] (1917, in Finnish), and *Notes on Vegetation in the Forests of Pyrola-Type*[17] (1919,

---

* As the classification of sites, based on forest types, has, indeed, been of a fundamental importance to Finnish forest research work, it might be mentioned that CAJANDER in his work *The Theory of Forest Types* defines the conception of forest type in the following way:

»To the same forest type are referred all those stands of which the vegetation at or near the time of maturity of the stands and provided the stands are normally stocked, is characterised by a more or less identical floristic composition and by an identical ecologico-biological nature, as well as all those stands the vegetation of which differs from that defined above only in those respects which — being expressions of differences due to age, fellings, etc. — have to be regarded as merely accidental and ephemeral or at any rate as only temporary. Permanent differences call forth a new forest type in cases where they are sufficiently well-marked, or a sub-type in cases where they are less essential, but, nevertheless, noticeable. In a forest type, therefore, as a rule, only those primary — climatic and edaphic — factors of the locality are reflected — which may be assumed to remain active, even when the locality is laid bare of all plants.»

in Finnish), and O. J. Lakari's *Investigations of the Forest Types of North Finland*[18] (1920, in Finnish; German summary), Alvar Palmgren's work concerning the Åland Isles *Contributions to the Knowledge of the Characters of the Flora of the Coniferous Forest*[19] (1922, in German), and Viljo Kujala's *Observations on the Forest and Swamp Types in Kuusamo and in the Region to the South of it*[20] (1921, in Finnish, German summary). Palmgren also carried out on the Åland Isles several other important plant geographical researches, the results of which have been of importance to forest research, particularly to the elucidation of forest types. Such are his *Studies on the Leaf Meadow Regions of Åland: I. Vegetation, II. Flora, III. Statistical Investigation of the Flora*[21] (1915—1917, in Swedish; Part III also in German), *Distance as a Plant Geographical Factor*[22] (1921, in German), and *The Number of Species as a Plant Geographical Character, and Chance and Secular Rise of the Ground as Plant Geographical Factors*[23] (1925, in German). Yrjö Ilvessalo's *Vegetation Statistical Investigations of the Forest Types*[24] (1922, in German) is also specially applicable to Finnish forest types, as well as Viljo Kujala's *Investigations of Forest Vegetation in Southern and Central Finland: I. Contributions to the Knowledge of the Ecologico-Biological Character of Plant Species, with Special Attention to the Formation of Plant communities, A. Vascular Plants, B. Feather Moss, C. Lichen; II. On the Demarcation of Colonies*[25] (1925 and 1926, in German). Ilvessalo explains, on a statistical basis, i.a. the number of species and the abundance of species of various forest types, the structure of the vegetation of the various forest types, and deals on a mathematico-statistical basis with the question, as to how big and numerous the sample plots ought to be for giving a reliable and in the main satisfactorily complete picture of the vegetation of the various forest plant communities. Kujala principally explains the biology of the main plant species of various forest types, the regularity of their occurrence, and the limitation of forest types (as well as of the plant communities in general).

With regard to research concerning conditions abroad Raf. Björkenheim's *Contributions to the Knowledge of Some Forest Types Occurring in the Spruce Forests of the German Central Mountains (Mittelge-*

birge) [26] (1919, in German) and, particularly, K. LINKOLA's many-sided publication *Investigations on the Forest Types Occurring in the Swiss Alps* [27] (1924, in German) should be mentioned.

A different conception of forest types has been put forward by WIDAR BRENNER in his publication *Studies of the Vegetation in Part of Western Uusimaa and on its Relation to the Quality of the Soil* [28] (1921, in Swedish; German summary).

Several of the investigations mentioned later under the headings: »Investigations concerning the forest soil», »Investigations concerning the growth, development and structure of the forest stands» and »Investigations into the distribution of the fertile soil», may be associated with those dealing with the forest types.

Investigations Concerning the Forest Soil.

The forest soil researches have until recently, on account of the lack of necessary laboratories, been comparatively limited. Many of these are very closely attached to the forest type researches, showing the correlation between forest types and the soil. Such are J. VALMARI's *Contributions to the Chemical Analysis of the Soil* [29] (1921, in German), and, based upon these results, YRJÖ ILVESSALO's publication *A Contribution to the Question Concerning the Correlation between the Properties of the Soil and the Growth of Forest Stands* [30] (1923, in German), as well as V. T. AALTONEN's researches *On the Degree of Acidity (p_H) on the Forest Soil* [31] (1925, in German) and *The Decomposition of Nitrogenous Compounds in Woodland Soils* [32] (1926, in German), the aim of which publications is to find out the causes of the yield capacity of various forest soils, and, finally, V. PESOLA's work on *Calcium Carbonate as a Plant Geographical Factor in Finland* [33] (1926, in Finnish; German summary). All these prove the correlation between forest types and soil to be a very strong one, thus, on their part, confirming the suitability of forest types as a basis for site classification.

The maceration phenomena of forest lands are explained in O. J. LUKKALA's publication *A Contribution to the Elucidation of the Bog-ore (Iron pan) Problem* [34] (1920, in Finnish; German summary) and V. T.

Aaltonen's *A Contribution to the Elucidation of Iron Precipitation in the Soil*[35] (1923, in German) and *Experiments for the Elucidation of the Prohibitive Action of Watery Humus Extracts*[36] (1923, in German). All these studies are appended to the researches made by B. Frosterus, B. Aarnio, and others, at the agrogeological department of the Geological Commission (the former was detached in 1926 from the Geological Commission, and transformed into an Agrogeological Institute subordinated to the Board of Agriculture).

Olli Heikinheimo's paper *On the Influence of Forest Devastation and Burning on the Forest Soil*[37] (1917, in Finnish) and V. T. Aaltonen's *Water Consumption of Trees and the Moisture Conditions of the Soil*[38] (1920, in German) also deal with the soil.

P. Kokkonen has published a preparatory research work *Observations on the Structure of Ground Frost*[39] (1926, in German); some special research works are still unfinished.

Investigations Concerning the Biology of the Native Forest Trees.

An object of much research work has been the biology of the native forest trees, particularly the natural reproduction of the various species of trees, so important from a silvicultural point of view. This research work has above all been concentrated on the two main species of trees in Finland, common or Scots pine *(Pinus silvestris)* and common or Norway spruce *(Picea excelsa)*. The recurrence of the reproduction years of the common pine has been examined by August Renvall on the northern forest limit, by O. J. Lakari in North Finland, and by Lauri Ilvessalo in Central and South Finland. Their researches have resulted in the publications *The Periodic Phenomena Presented by the Reproduction of Pine at the Polar Forest Limit*[40] (1912, in German), *Investigations on the Seed Years and Age-classes of the Heath Pine Forests in North Finland*[41] (1915, in German), and *Investigations on the Reproduction Years of Pine Forests in South and Central Finland*[42] (1917, in Finnish; German summary). From these it appears that common pine has rich reproduction years on the northern forest limit only once in

a hundred years, in North Finland on an average every ten years, and in South and Central Finland on an average every six years (rich, or fairly rich, on an average every three years). I. LASSILA explains in his publication *Investigations of the Natural Reproduction and Development of the Pine Forests north of the Arctic Circle*[43] (1920, in Finnish; German summary) the conditions of the natural reproduction of the northern pine forest as well as the causes of the occurrence of the reproduction years in groups. The northern pine forests are also dealt with by V. T. AALTONEN in his work *On the Natural Reproduction of the Heath Forests in Finnish Lapland*[44] (1919, in Finnish; German summary), in which the birth and development of the pine's second growth are explained. The natural reproduction of spruce forests in North Finland has been examined by OLLI HEIKINHEIMO. The results of his examinations are to be found in the publication *The Silviculture of the Spruce Forests of North Finland* (see p. 37). The reproduction conditions of spruce in South and Central Finland are dealt with by O. J. LAKARI in his publication *Investigations of the Reproduction Years of Spruce Forests in South and Central Finland*[45] (1921, in Finnish; German summary). From this publication it appears that spruce in the southern and central parts of Finland has got rich, or rather rich, reproduction years on an average every 3 to 5 years. Dry and warm summers (or springs) have with regard to pine as well as spruce almost regularly led to an abundant bloom during the following year, followed later on in turn by an abundant seed production and a good reproduction year.

The vegetative reproduction of the native species of trees has been examined particularly by OLLI HEIKINHEIMO. The results of these examinations are included (as subsidiary results) in the publications *The Influence of Cultivation by Burning on the Forests of Finland* (see p. 36) and *The Silviculture of the Spruce Forests in North Finland* (see p. 37).

MARTTI HERTZ has published a research work, *On the natural Reproduction of the Lime Tree in Finland*[46] (1925, in Finnish; German summary), about the sexual and vegetative reproduction of the Lime tree *(Tilia cordata)*, in which he also explains the general biology of the Lime tree, as well as the distribution and occurrence of the Lime tree in Finland.

Phenological observations have already during many decades been made in various parts of Finland. Based upon these observations Viljo Kujala published his *Calculations of the Length of the Leaf Period of Broadleaved Trees and the Flowering Time of Trees in Finland*[47] (1924, in Finnish; German summary).

A. G. Blomqvist's pine and spruce monographies have already been mentioned above (p. 9). In A. K. Cajander's big dendrological handbook, *Principles of Silviculture: II. The Main Features of Finnish Dendrology*[48] (1917, in Finnish), there are comprehensive descriptions particularly of the most important native species of trees, but also containing the author's own observations with regard to their biology. Viljo Kujala has published a comprehensive research work, *The Black Alder (Alnus glutinosa (L.) Gaertn.) in Finland*[49] (1924, in Finnish; German summary), Artur Thesleff has published a research work about oak, *(Quercus pedunculata) The Oak in Eastern Finland*[50] (1895, in Swedish), and Sulo Linko a shorter description about oak, *The Distribution of the Oak in the Parishes of Maaria, Raisio, Kaarina and Parainen*[51] (1914, in Finnish).

Hjalmar Hjelt's and R. Hult's publications have already been mentioned above (p. 11).

Several of the investigations mentioned later under the heading »Investigations concerning the growth, development and structure of the forest stands» also elucidate the biology of the native forest trees.

Investigations of the Tree Roots.

Although the root system is of the very greatest importance to the vital functions of the trees, much less attention has been paid in biological-silvicultural researches to the roots than to surface parts, this being evidently in the main due to the fact that an examination of the root systems is generally of a much more troublesome nature. Investigations of the root system were started in Finland only during the last few years. These were partly made as special investigations and partly in connection with other investigations (forest reproduction and swamp investigations). Very little has so far been published about

their results, among other things, some special investigations concerning the root systems of pine and spruce are still incomplete. One part of these investigations deals with the structure and development of the tree roots, whilst another part deals with the root competition between the trees.

V. T. AALTONEN was the first one in Finland to draw attention to the root competition in his investigation of forest reproduction on the Lapland heaths mentioned above (p. 32). He treats the same subject more exhaustively in his investigation *On the Extension and Abundance of the Tree Roots in the Heath Forests of Lapland*[52] (1920, in German), this work being based upon the material gathered for the former one. He has also in an experimental way tried to throw light on the root competition by making pot and field cultivation experiments with maize. He explains the results of these experiments in his publication *On the Spatial Arrangement of Plants on Field and in Forest*[53] (1923, in German).

OLLI HEIKINHEIMO has published an investigation *On the Determination of the Age of the Spruce and on its Adventitious Roots*[54] (1920, in Finnish; German summary); his publication dealing with storm damage in the Larch Forest of Raivola (see p. 39) contains observations on the root system of larch. P. KOKKONEN and S. E. MULTAMÄKI have in connection with their investigations of the growth of swamp forests made observations about the pine's root system on drained and undrained swamps (see p. 44).

Heredity Investigations.

(The origin of species, source, and so-called small forms.)

In his big work, *Principles of Silviculture: I. The main features of the Plant Biology and Plant Geography*[55] (1916, in Finnish), A. K. CAJANDER, in giving an account of the history of vegetation, has thrown more light on the idea about the origin of species and source, putting forward independent ideas, afterwards published as a special publication, entitled *Some Reflections on the Origin of Species especially within the Group of Ligneous Plants*[56] (1921, in German). — OLLI HEIKINHEIMO has

examined the spruce *(Picea excelsa)* forms, based upon the differences with regard to their cones and branches, as well as their silvicultural value. The results of his investigations are recorded in his publication, *On the Forms of the Spruce and their Silvicultural Value*[57] (1920, in Finnish; German summary). A. Osw. Kairamo had already earlier in his plant biological investigation from Kola peninsula (see p. 11) dealt among other things with spruce forms which differ on account of their cones.

At the Forest Research Institute various experimental investigations are just now being carried out with regard to the heredity of the trees' properties.

The Cultivation of Foreign Species of Trees.

The theoretical fundamentals of the cultivation of foreign species of trees are explained by A. K. Cajander. In Part II of his previously (p. 34) mentioned work, *Principles of Silviculture*, he puts forward the general lines with regard to the cultivation of foreign species of trees in Finland, showing under what conditions the cultivation of trees outside their natural area of distribution in general is possible, and on which areas of the globe there are to be found climatically corresponding areas to those of Finland from which species of trees can be got for cultivation experiments. According to W. Köppen's division of climates, he has in Part I of his work developed a division of climates which is very suitable as a basis for a comparison of climates. This division of climates has also been published (slightly abridged) as a special publication under the title *A Contribution to the Question of the Mutual Relations between Climate, Soil and Vegetation*[58] (1921, in German). General principles with regard to the cultivation of foreign species of trees are also dealt with in Cajander's paper, *The Cultivation of the Foreign Species of Trees as a Silvicultural and Plant Geographical Problem*[59] (1923, in German). By virtue of the experimental culture results obtained in various parts of Europe with regard to foreign species of trees, Lauri Ilvessalo shows in his publication, *On the Possibilities of Cultivation of Foreign Species of Trees, with Special Regard to Finland*[60] (1920,

in Finnish; German summary), how a successful cultivation of foreign species of trees depends closely upon the degree of similarity between the climate of natural distribution and the cultivation region (or, more accurately, cultivation site) of the species of trees, as well as how important the origin (the geographical races of the species of trees) of seeds is to the cultivation of foreign species of trees.

In his publication, *Arboretum Mustila: I. Conifers*[61] (1922, in Finnish; English summary), A. F. TIGERSTEDT reports on the results achieved with regard to conifers during the experiments with cultivation of species of trees, mentioned earlier (p. 23). FREDR. ELFVING's publication, *The Ligneous Plants in the Botanical Garden of the University of Helsinki*[62] (1913, in Swedish) also contain information about the thriving of several foreign forest trees in the Botanical Garden of Helsinki University. Already earlier (in 1897) ELFVING had in one of his publications about Finland's cultivated plants given short notes on the distribution and thriving as park trees in Finland of some foreign species of trees.

LAURI ILVESSALO has also published a monography on *The Cultivation of Larch Species in Finland*[63] (1916, in Finnish; German summary) and a research on *The Larch Forest of Raivola*[64] (1923, in Finnish; German summary), dealing with the oldest and most noteworthy foreign wood in the northern countries.

Investigations Concerning Silvicultural Methods.

No other form of human culture has in such a high degree and in so many ways affected the forests of Finland as cultivation by burning. A century ago it was still very general, but in the latter part of the last century it began to disappear rapidly, owing to the progress of ordinary feald tillage as well as to the increase in the value of timber; nowadays one encounters it only in East Finland, and even there as a rarity. OLLI HEIKINHEIMO has made investigations into the prevalence at various times of cultivation by burning, into the methods and, particularly, into the effect of cultivation by burning on the forests in Finland. He gives an account of the results of his investigations in his extensive publication, *The In-*

fluence of Cultivation by Burning on the Forests of Finland[65] (1915, in Finnish; German summary). Cultivation by burning has in later times been taken into silvicultural service as a means of forest reproduction. The importance of cultivation by burning just in this respect is explained by Thom. Cannelin in his publication, *The Importance of Cultivation by Burning for our Forests, for the Country and People*[66] (1917, in Swedish). E. Wuori and Lauri Ilvessalo have investigated the forest cultivation experiments with native and foreign species of trees which have been made since 1870 by means of cultivation by burning in the Vesijako State forest. The results of these examinations have been published in *Investigations of Coniferous Forest Stands originated by Cultivation by Burning in the State Forest of Vesijako*[67] (1913, in German) and *Experiments with Foreign Species of Trees in the State Forest of Vesijako*[68] (1913, in German). — The topping of trees, nowadays also disappearing into the past, has been dealt with by O. J. Lukkala in his paper, *Gathering of Leafy Twigs for Foddering Purposes in South-western Finland and its Silvicultural Importance*[69] (1920, in Finnish; German summary).

In his study, *The Reproduction Cuttings Compared with one another*[70] (1910, in Finnish), A. K. Cajander gives a comparative, critical review of various reproduction cuttings, and examines their suitability for the forests of Finland. The results of the compartment shelterwood (seedtree) method, already in use for many decades on the landed estates of the State, are described by G. Hj. Enroth in his publication, *On the Compartment Method in the Forests of State estates*[71] (1915, in Finnish). V. T. Aaltonen and I. Lassila have dealt with the silviculture of the pine forests on the dry heaths of Lapland in their previously (p. 32) mentioned publications, whilst the silviculture of the spruce forests in North Finland is described by Olli Heikinheimo in his publication, *The Silviculture of the Spruce Forests of North Finland*[72] (1922, in Finnish; German summary). O. J. Lakari has examined the effect of pruning on the growth and technical properties of spruce; the results have been published under the heading of *Investigations of the Pruning of the Spruce*[73] (1920, in Finnish; German summary).

The dependence of silvicultural methods on forest types in Central Europe is described by A. K. CAJANDER in his previously (p. 27) mentioned work *Forest Types* (1909). V. T. AALTONEN has published a critical review, based upon his own observations, *On the newer Silvicultural Systems in Germany*[74] (1924, in German).

Investigations into Forest Injuries.

Along with cultivation by burning, forest fires have also had a very notable influence on the forests of Finland. In earlier times the forest fires were allowed to rage almost at their own free will until they died out by themselves, but even nowadays in dry summers, particularly in the thinly populated North Finland, they sometimes cover a big area, causing considerable economic losses. The effect of forest fires on the proportions of the species of trees in the Finnish forests is described by A. K. CAJANDER in his previously (p. 34) mentioned work, *Principles of Silviculture I.* VILJO KUJALA has recently published a research *Investigations of the Influence of the Forest Fires on the Vegetation in North Finland*[75] (1926, in German). — The causes of outbreak of forest fires, their occurrence (number, extent, and economic damages) in various years, and on different classes of soil and forest and the influence of weather conditions on the occurrence of forest fires is described by EINO SAARI in his statistical investigation, *Forest Fires in Finland, with Special Reference to the State Forests*[76] (1923, in Finnish; English summary). Already earlier ONNI LÖNNROTH had published a smaller investigation on the same subject, *Forest Fires in the State Forests*[77] (1913, in Finnish). The destruction caused by the fires, as well as the practical measures adopted for their prevention, are extensively dealt with by the forest fire committee, appointed by the Government in 1924, in its recently published report. (The chairman of this committee, O. J. LAKARI, will prepare an English summary of the report.)

Damages caused by storms have been investigated particularly by A. J. BONSDORFF. The results of his investigations are the publications *Studies of the Directions of Storms in Finland*[78], and *Contributions to our Knowledge of Storm Damages in Finland*[79] (1917 and 1918, in German).

Olli Heikinheimo has recently completed a work on *Damage Caused by Storm to the Larch Forest of Raivola on September 23, 1924*[80] (1926, in Finnish; German summary).

After A. K. Cajander in one of his lectures at the Society of Forestry in 1916 * had drawn attention to the usual snow injuries to forests in the eastern parts of North Finland, Olli Heikinheimo made a circumstantial examination of these. In his publication, *The Snow Damage Regions of Finland and their Forests*[81] (1920, in Finnish; German summary), he gives an account of the extent of the area affected by the snow injuries, their causes, and the kind of injuries caused by the snow. V. T. Aaltonen has in his previously (p. 32) mentioned work about reproduction on the heath forests of Lapland also touched upon the damage caused to the seedlings by the crushing of snow and freezing of the soil.

The drift sand danger and the possibilities of preventing it are elucidated by Lauri Ilvessalo in the study: *Coast Dunes of the Outlying Islands of the Finnish Gulf and the Possibilities of Arresting them*[82] (1926, in Finnish; German summary).

Damage caused by insects has been examined particularly by Uunio Saalas. His most notable publications are *The Spruce Beetles of Finland: Studies on the Developmental Stages, Habits and Geographical Distribution of the Coleoptera Living in the Picea excelsa Link., together with a Table for Determining the Larvae I & II*[83] (1917 and 1923, in German), and *On Bark-beetles and the Damage caused by them in the Forests in Finland*[84] (1919, in Finnish; German summary). K. O. Elfving has published a research work, dealing with *Diseases and their Causes in Forest Cultures*[85] (1905, in Swedish), in which he gives an account of damage, caused by insects as well as by fungi.

Artur Thesleff has investigated the occurrence of the noxious forest fungi belonging to the class of *Basidiomycetes*. His most noteworthy publications are: *On Parasitic Basidiomycetes, Occurring on Ligneous Plants*[86] (1892, in Swedish), which contains a catalogue of the Basidio-

* A summary of the lecture is to be found in the publication on the Society of Forestry's activity in 1909—1917 (A.F.F. 7, 1917, p. 214—216, in Finnish).

mycetes of the Finnish forest trees and shrubs, and *Studies on the Basidiomycetes Flora of South-eastern Finland, with Regard to its Composition, Physiognomy, Phenology and Ecology*[87] (1919, in Swedish). The most noteworthy of the publications by J. I. LIRO (LINDROTH), dealing with the noxious fungi of forests, are: *Contributions to our Knowledge of the Decomposition Phenomena of Birch Wood*[88] (1904, in German), and *Culture Experiments with Finnish Rust Fungi I—II*[89] (1907, in German), finally *Uredinae Fennicae, Finnish Rust Fungi*[90] (1908, in Swedish). — As subsidiary results observations on injuries caused by insects and fungi have been published in several studies, especially in the silvicultural ones.

Forest Grazing Investigations.

The use of forests for grazing is still very common in our day in Finland, though in several parts of the country artificial grazing lands are already coming into use. It is thus but natural that efforts have been made to expound the effect of grazing on the forests. The effect on the forests of domestic animals (horses, cows, sheep, and goats) has been investigated by S. E. MULTAMÄKI. He gives an account of the results of his investigations in his publication, *On the Grazing in Forests and Tending of Grazing Lands*[91] (1916, in Finnish). Also A. PALMGREN's previously (p. 20) mentioned publication, *Studies on the Leaf Meadow Regions of Åland: I. Vegetation*, contains observations about the grazing effect on forests, among other things accounting for how the spruce gained predominance in the hardwood forests of the Åland Island.

In North Finland, particularly in Lapland, reindeer breeding is still comparatively general. The effect of reindeer on the forests has been examined principally by AUGUST RENVALL and V. T. AALTONEN. The results of Renvall's investigations are to be found in his publication mentioned below, *On the Question of Protection Forests*, those of Aaltonen in his previously (p. 32) mentioned publication about reproduction of the heath forests in Lapland. Earlier, this question was dealt with also by EINAR REUTER (in several papers in S.My.J.) and in the Report of the Reindeer Commission (1914) appointed by the Government in 1911.

The Problem of Protection Forests.

The problem of protection forests, so important in the northern parts of Finland from the point of view of forestry as well as agriculture and settlement, has been examined by AUGUST RENVALL and OLLI HEIKINHEIMO, earlier also by H. R. SANDBERG and the so-called Protection Forest Commission, appointed by the Government in 1907. SANDBERG has published the results of his investigations in the *Report of a Journey Made by Means of a Public Stipend to Inari, Utsjoki and Enontekiö with a View to Carrying out Forestry Investigations*[92] (1898, in Swedish). The report of the Protection Forest Commission appeared in 1910 (in Finnish). RENVALL has published an extensive research *On the Question of Protection Forests*[93] (1919, in Finnish; German summary), in which lines are suggested for the solving of the problem of protection forests, as well as the main principles for the management of protection forests of farthest Lapland. Part I deals with the vital conditions of the pine forest on its northern limit and the reasons for the descent of this limit, Part II with the objects and conditions of the protection forest system, Part III with protection of forests from fires, Part IV with the arrangement of reindeer-grazing on protection forest regions, Part V with silvicultural principles in the actual forest limit region, and Part VI with the arrangement of settlement conditions in the pine forest limit region. Soon afterwards appeared HEIKINHEIMO's research work, *On the Forests at the Forest Limit in Finland and their Future Treatment*[94] (1921, in Finnish; German summary).

Swamp Investigations.

Swamp investigations have been carried out in Finland on a comparatively large scale. This is, as a matter of course, due to the fact that a huge part of the whole land area of Finland is covered with swamps (34.6 %); they constitute a notable landscape feature, and are at the same time of substantial economic importance. As the swamps of Finland in bygone times had been but very little examined, it proved necessary to carry out very thorough examinations, particularly as

the swamps in the northern countries differ considerably from those of Central Europe.

The foundation for Finnish swamp researches, closely connected with J. P. NORRLIN's investigations (see p. 11), was laid by A. K. CAJANDER with his work, *Studies on the Swamps of Finland*[95] (1913, in German). * This work is of the same importance to swamp researches in Finland as the same author's work *Forest Types* (1909) to actual forest researches. In the general part of the work the author describes the origin and development of swamps, as well as various swamp complexes, whilst in the special part he gives a thorough, systematic description of Finland's swamp types. Those swamp types distinguished by CAJANDER have come into general use during swamp examinations, but they are also of great importance during practical swamp draining.

The origin and development of swamps were also examined by CAJANDER's pupils, A. L. BACKMAN, VÄINÖ AUER, and VILJO KUJALA. The examinations were carried out in North Finland where, particularly in Ostrobothnia, swamp invasion is very common and extensive. In his publication, *Investigations of Swamps in Mid Ostrobothnia*[96] (1920, in Swedish; German summary), BACKMAN shows that at least 95 % of the swamp area in Ostrobothnia is the outcome of forest area having been invaded by swamp. AUER published: *On the Modes of Invasion of Land by Swamp in Mid Ostrobothnia*[97] (1921, in Finnish; German summary), *Contributions to the Stratigraphy of the Swamps of Mid Ostrobothnia*[98] (1921, in German), *Investigations on the Flooded lands in Lapland*[99] (1921, in Finnish; German summary), and *Investigations of Swamps in the Hill Regions of Kuusamo and Kuolajärvi*[100] (1922, in Finnish; German summary), the last one being a very extensive and manysided research work. KUJALA published a smaller investigation *On the Genesis of Swamps in Mid Ostrobothnia*[101] (1924, in Finnish; German summary).

---

* Already earlier CAJANDER had published some research works on swamps, but in this work all his extensive swamp examinations have been collected into one integral whole.

Some of AUER's investigations mentioned above also deal with the surface morphology of the swamps. He treats this subject separately in his publication, *On the Origin of Cords on Swamps* [102] (1920, in German). Already earlier ANTTI TANTTU had published a smaller research work, *On the Origin of Hummocks and Cords of Swamps* [103] (1915, in German). — O. J. LUKKALA describes the relation between swamp types and the surface peat of the swamps in his paper *Studies of the Relations between the Swamp Type and the Surface Peat of Swamps* [104] (1920, in German). In his publication, *Investigations of the Botanical Development of Swamps with Reference to the Chemical Composition of Peat* [105] (1924, in German), H. WARÉN describes the relation between the botanical and chemical composition of swamp peat.

The tree-stump strata found in swamps are described by O. J. LUKKALA in his publication, *Investigations of the Stump Strata of Swamps* [106] (1920, in Finnish, German summary), as well as by AUER in some of his previously mentioned publications.

In the service of post-glacial chronology the swamps have gained a very great importance. The research work on this subject was started in Finland by RAFAEL HERLIN in the nineties, when he published his work *Studies in Paleontological Plant Geography of North Satakunta* [107] (1896, in Swedish); later on investigations were carried out by the Swede G. ANDERSSON, H. LINDBERG, and VÄINÖ AUER. The most noteworthy research work is that of AUER, explaining the development of the lake Vanajavesi and its surroundings, the results of which have been published in two publications: *Post-glacial History of Lake Vanajavesi* [108] (1924, in German), and *Investigations of the Ancient Flora of Häme (Tavastland)* [109] (1925, in English). A. L. BACKMAN and ASTRID CLEVE-EULER describe in their publication, *The Fossil Diatomeae Flora of Ostrobothnia* [110] (1922, in German), the fossil *Diatomeae* discoveries in Ostrobothnia and, on the strength of these, the limits of the Litorina Sea in Ostrobothnia.

The draining and afforestation of the swamps is a very important research subject from the point of view of practical forestry. This subject has principally been examined by ANTTI TANTTU and S. E. MULTAMÄKI.

After describing what swamp type each drained swamp represented in its natural state, TANTTU shows in his publication, *Investigation of the Afforestation of Drained Swamps*[111] (1915, in Finnish; German summary), that each swamp type changes as a result of draining — if only the draining has been thoroughly carried out — into a certain forest type. By means of the swamp type one is thus able to determine, how much productive forest land the swamp will yield after draining. In his publication, *On the Swamps of Finland and their Afforestation*[112] (1920, in Finnish; German summary), S. E. MULTAMÄKI deals especially with the draining qualifications of various swamps for forest growing, and the importance of draining and afforestation of swamps from the point of view of economics. From his publication, *Investigations of the Growth of Forest on Drained Swamps*[113] (1923, in Finnish; German summary), it is obvious that as far as swamp types in respect of their surface vegetation can be compared with actual forest types, they will also correspond to the latter with regard to their forest growth. The same publication also contains numerous observations about the root forms of the pine on swamps and the drainage influence upon them. P. KOKKONEN also deals with this subject in his paper, *Observations on the Root System of the Pine in Swampy Grounds*[114] (1923, in German). An important technical question concerning draining is treated by KOKKONEN in his publication, *Studies of the Circumstances Affecting the Condition of Drainage Canals*[115] (1923, in Finnish; English summary).

THEODOR HOMEN's research work, *Our Forests and our Water Conditions*[116] (1917, in Swedish), dealing with the water circulation in nature, tells us also about the part played by swamps in this circulation, and particularly about the influence of swamp draining upon it.

Among the publications belonging to the domain of swamp research a paper by VÄINÖ AUER has finally to be mentioned: *Some Future Tasks in the Domain of Swamp Research in Finland*[117] (1924, in Finnish; German summary).

2. *Investigations Concerning Forest Mensuration (with Forest Valuation) and Forest Policy,*

The investigations concerning forest mensuration (with forest valuation) and forest policy carried out in Finland have dealt with the following subjects: the form of tree stem, growth, development, and structure of the stand, forest resources and general conditions of forestry, consumption of forests, the relation between the growth and consumption of forests, forestry among the various owner groups, wood working industry and wood working companies, export of forest products and export duties of forest products, evolution of timber prices, forest legislation, distribution of the fertile soil in Finland and in its various parts, settlement conditions and settlement policy, and the land granting policy of the State.

The Application of Mathematico-Statistical Methods to Forest Research Work.

The investigations concerning forest mensuration (with forest valuation) and forest policy are essentially based upon statistical work, principally upon so-called representative statistics. For the purpose of getting reliable results it is, therefore, often necessary to employ so-called mathematico-statistical methods which have been vastly developed of late. A very essential feature of the investigations concerning forest mensuration (with forest valuation) and forest policy carried out in Finland is the mathematico-statistical treatment of the material under investigation.

In Finland Werner Cajanus was the first to prove the utility of applying mathematico-statistical methods to investigations concerning forest mensuration. In his paper on the methods of preparing yield tables, read in 1912 before the Society of Forestry *, he drew attention to the great significance of stem distribution series in the preparation of yield tables. By classifying the trees of stands in diameter-classes ac-

* A summary of the paper is to be found in the publication on the Society of Forestry's activity in 1909—1917 (A.F.F. 7, 1917, p. 75—77, in Finnish).

cording to breast-height diameter, one arrives at the stem distribution (frequency) series of the stands, which one is able to characterize accurately enough by means of some easily determined parameters (mean diameter, number of trees, dispersion, asymmetry, and excess). As distribution series of this kind further determine the total volume of the stand as well as many other data recorded in the yield tables (whilst the converse is not true), they are better than the total volume to serve as a basis for the preparation of yield tables. The effect of various silvicultural methods on the development of stands shows itself more clearly in the distribution series than in the total volume, because stands that have been tended according to various methods may be of the same volume, but one and the same stem distribution series applies only to stands (of the same age and grown on sites of the same biological value) that have been tended according to the same method. Thus the stem distribution series offer excellent guidance, when it has to be determined which of the younger and older stands belong to one and the same developmental series. By examinations of stem distribution series one also gets the chance to elucidate the development of mixed forests and uneven-aged stands, which would not be possible by a mere examination of the volume. — These facts, the main features of which CAJANUS had only touched upon in his paper, he treated more circumstantially in his work, published two years afterwards based upon Swiss material of observations, *On the Development of the Even-aged Forest Stands. A Statistical Study I* [118] (1914, in German). This work is of fundamental significance in Finland, when applying mathematico-statistical methods to investigations concerning forest mensuration and valuation and to forest researches in general.

Some years after CAJANUS's work had been published, the Society of Forestry entrusted YRJÖ ILVESSALO with the preparation of growth and yield tables for the main species of trees in Finland. After the research material had been collected, the method of stem distribution series, recommended by CAJANUS, and mathematico-statistical methods in general, were used in working it up and thus one got the growth and yield tables on a safe basis. During the handling of the material

for his investigation into the structure and development of pine stands, Erik Lönnroth also resorted to mathematico-statistical methods.

Besides the investigations concerning development, structure, and growth conditions of the stands, mathematico-statistical methods have also gained an important place in the testing of the results of the so-called *line-survey method*. The line-survey method has been used in Finland already for many decades. However, it was taken into extensive use only after its capability for forest surveying had been scientifically proved to be reliable, and after mathematico-statistical methods had been applied to testing its results. On the initiative of the Finnish Forestry Association Tapio, a general survey of the forests of Sahalahti and Kuhmalahti parishes was carried out in 1912, one of the aims of this survey being to establish the exactness and suitability of line-survey to the inventory of forest resources of larger areas. The survey was carried out under the direction of Cajanus, but after his death in 1919 the preparation of the material was entrusted to Yrjö Ilvessalo in 1920. In the meantime Ilvessalo had in 1919 prepared a small investigation *On the Accuracy of Line-Survey* [119] (1920, in Finnish). This publication also contains a short mention of those mathematico-statistical methods by which the results of line-surveys may be tested. They are more extensively explained in Ilvessalo's publication, *Investigations of the Condition of the Private Forests in the Central Parts of the Province of Häme* (see below p. 52). Basing himself upon one experiment, M. Lappi-Seppälä gives an account of the accuracy of line-survey in his publication, *On the Line-Survey and its Accuracy* [120] (1924, in Finnish, German summary).

In his investigations, *On the Calculation of the Mean Error in the Results of a Line-Survey* [121] (1924, in German), J. W. Lindeberg has critically examined the mathematico-statistical testing methods of line-survey as they are employed both at home and abroad, and submits new formulas for testing the results of line-survey. These newest testing methods were afterwards used in the general survey of the forests of Finland (see p. 50) which is the most extensive survey work in which line-method has been put to practical use in Finland.

In forest political investigations, too, the mathematico-statistical methods have come into use in Finland. EINO SAARI, in particular, adapted them for investigations into this subject in his publications mentioned further on.

Investigations Concerning the Form of Trees.

In his paper submitted to the Society of Forestry in 1911, published the same year under the heading of *Methods for Investigating the Form of Trees*[122] (1911, in Finnish; German summary), WERNER CAJANUS explained the defects in the investigation methods of the form of trees, and proposed a new method for the mathematical description of the tree form. This method was afterwards employed by O. J. LAKARI during his examination of the form of pine trees. The results of his examination are published under the name of *Investigations of the Form of the Pine*[123] (1920, in Finnish; German summary).

Investigations Concerning the Growth, Development, and Structure of the Forest Stands.

WERNER CAJANUS's research work has already been mentioned above (p. 46), in which he gives an account of the prevailing regularities in the development of even-aged stands.

Closely connected with A. K. CAJANDER's fundamental work, *Forest Types* (1909), is YRJÖ ILVESSALO's publication, *Investigations of the Importance of the Forest Types with Regard to Forest Mensuration*[124] (1920, in Finnish; German summary), basing itself upon investigations carried out on sample plots in 467 stands, and definitely proving that forest types can be used successfully as a basis for the classification of forest soils according to quality, for all kinds of investigation into forest mensuration, and particularly for the preparation of growth and yield tables. Already earlier ILVESSALO had made a preliminary comparison in his concise investigation, *On the Growth of the Dominating Trees in the Pine Forests of Myrtillus and Calluna Types in the State Forest of Salmi*[125] (1916, in Finnish; German summary) between the growth of two forest types. After it had become definitely clear that forest types are a suitable

basis for the classification of forest soils according to quality *, Ilvessalo published *Growth and Yield Tables for the Pine, Spruce and Birch Forests of the Southern Half of Finland* [126] (1920, in Finnish; German summary), constructed on the basis of the material collected from the above mentioned 467 stands. These growth tables differ from corresponding foreign ones in principle in two respects: firstly, all their species of trees have got common site classes, forest types being used for this purpose, and, secondly, as already stated above, mathematico-statistical methods were employed during the treatment of the material. On the strength of the material offered by Ilvessalo's Growth and yield tables, V. T. Aaltonen in his paper, *On the Self-Thinning of Forest Stands and on the Space Condition of Trees in Virgin Forests* [127] (1925, in Finnish; German summary), describes the self-thinning of the stands and the growth space of the trees in virgin pine, spruce, and birch stands, on the most common forest types in the southern half of Finland. Aaltonen also published a study, *On the Influence of Trees on One Another in General* [128] (1925, in German).

For the preparation of growth tables for forests in the northern half of Finland, O. J. Lakari elaborated a scheme, published under the title *A Proposal for the Preparation of Yield Tables for the Forests of North Finland* [129] (1919, in Finnish). As orientating investigations may be mentioned Lakari's *Investigations into the Forest Types of North Finland* (see above p. 29) and *Investigations of the Growth of the Spruce and Pine in Forests of the Hylocomium-Myrtillus Type in North Finland* [130] (1920, in Finnish; German summary). T. Heikkilä examined the value increment percentage of the stands on some forest types in North Finland; the results were published under the title *Investigations of Growth in the Far of North Finland* [131] (1925, in Finnish; German summary).

In his publication, *Investigations of the Internal Structure and Development of Even-aged Nature-Normal Pine Stands, Based on Materials*

* See also Yrjö Ilvessalo: *The Forest Types as Foundations for New Yield Tables for Finland.* Included in the above mentioned publication *Forest Types II* (p. 42—63, in German).

from the Southern Half of Finland[132] (1925, in German), which on corresponding points fully confirms YRJÖ ILVESSALO's investigations into the importance of forest types in forest mensuration and valuation, ERIK LÖNNROTH describes the structure and development of virgin pine stands on the most common forest types in the southern half of Finland. Dealing with this subject the author especially examines the share of biological tree classes in the structure and development of the stands subjected to investigation, his tree classes being independently formulated by him on the basis of GUNNAR SCHOTTE's tree-classification. In his study *The Stereometrical Mean Stem of the Stand*[133] (1926, in German), LÖNNROTH critically examines the calculation methods of the stand's average stem, and develops the formula for calculating the average stem of the stand. *

Investigations into the growth of swamp forests have already been mentioned above, in connection with the swamp investigations.

In his publication, *Investigations of the Influence of the Meteorological Factors on the Height and Diameter Growth of the Pine*[134] (1920, in Finnish; German summary), ERKKI LAITAKARI explains how the growth of the trees is dependent upon weather conditions.

Forest Resources and General Conditions of Forestry.

The knowledge of Finland's forest resources was very defective until the main results of the general line-survey of the forests of the whole country carried out in 1922 and 1923 were published. This research work, so very important to Finnish forestry, started in 1921, when O. J. LAKARI on the initiative of the Assessment Committee, appointed by the Government, carried out the preliminary investigations. The actual survey was carried out in the summer of 1922 and 1923, in the

* LÖNNROTH also constructed a dendrometer which is adapted to the measurement of the height as well as the diameter. (See ERIK LÖNNROTH: *Ein Dendrometer.* A.F.F. 30, 1926. 14 p. and 3 pl. and 3 tables.) Dendrometers of various types had already before been invented by FABIAN LANGENSKJÖLD, J. H. A. AF FORSELLES, N. C. NORDENSKIÖLD, ROBERT MONTELL, H. H. HACKSTEDT, WERNER CAJANUS and T. HEIKKILÄ. Several types of callipers for measuring stems have also been devised.

State forests by the Board of Forestry, and in other forests by the Forest Research Institute. The work was put under the direction of YRJÖ ILVESSALO, Professor of the Department for forest mensuration and valuation of the Forest Research Institute. Already in 1924 it was possible to publish two concise reports on the main results of the work done: YRJÖ ILVESSALO's *The Forests of Finland: the Forest Resources and the Condition of the Forests*[135] (1924, published in Finnish, Swedish, English, and French), and OLLI HEIKINHEIMO's *The Silvicultural Condition of the Forests of Finland*[136] (1924, in Finnish). A comprehensive main publication, containing an account of the results in detail, is now being prepared.

Some of the more important figures concerning the results may be mentioned below:

Finland's forest area comprises 62.43 million acres (25.26 million hectares) or 73.5 % of the total land area. Forest land per head of the population averages 18.3 acres (7.4 hect.). The State owns 39.8 %, parishes 1.0 %, rural and municipal communities 0.7 %, Joint Stock companies 7.5 %, and private individuals 51.0 % of the total area of forest lands.

With regard to various species of trees, the forest area is divided in such a way that common pine dominates 55.2 % of the forests, spruce 24.8 %, birch 16.9 %, alder 1.5 %, and aspen 0.2 % of the forests, whilst 1.4 % is clear.

The total growing stock of forests amounts to 57,213 million cubic feet (1,620 million m^3). The growing stock per each acre of forest land averages 919 cubic feet (per hect. 64.3 m^3), and per head of population 16,810 cubic feet (476 m^3).

The total annual growth of forest is at present 1,568 million cubic feet (44.4 million m^3). The growth per each acre of forest land averages 25.3 cubic feet (per hect. 1.77 m^3), and per head of population 459 cubic feet (13.0 m^3).

The forest percentage differs for various parts of the country, likewise also the quality of forest lands, and the growing stock and the growth of forests, as well per acre as per head of population, the difference being particularly big between the northern and southern parts of Finland.

Earlier investigations into the forest resources of Finland deal primarily with the condition of the forests. The oldest description of the forests and forestry in Finland is EDMUND VON BERG's publication, *The Forests of Finland*[137] (1859, in German). * Many Government Committees afterwards issued accounts of the condition of the forests. Among these accounts may be mentioned particularly the reports of the so-called State Forest Committee and of the so-called Private Forest Committee, each of the reports being issued in 1900. On the strength of the statistical material collected on the initiative of the Finnish Forestry Association Tapio, A. BENJ. HELANDER published in 1910 a study, dealing with the condition of the private forests in Finland, *The Private Forests of the Country*[138] (1910, published in Finnish, Swedish and French). The line-survey of the forests in Sahalahti and Kuhmalahti parishes, carried out in 1912, has already been mentioned above (p. 47), the results of which are described by YRJÖ ILVESSALO in his publication, *Investigations of the Condition of the Private Forests in the Central Parts of the Province Häme*[139] (1923, in Finnish; German summary). In 1917 O. J. LUKKALA and S. E. MULTAMÄKI carried out an investigation into the condition of the forests in East Finland (in the Savo and Karjala provinces). MULTAMÄKI published the results of these investigations under the title *Investigations of the Condition of the Forests in Savo and Karjala*[140] (1919, in Finnish; German summary). Smaller studies about the condition of private forests were published by WERNER CAJANUS and RAGNAR SAXÉN, but since the main results of the general line-survey of the forests of the whole country were published, the former are no longer of any practical importance.

OLLI HEIKINHEIMO published a research work, *The Occurrence, Area and the Growing Stock of the Spruce Forests in North Finland*[141]

* At the invitation of the Finnish Government Baron V. BERG made a journey to Finland for the purpose of reporting on the organization of forest administration. In Finland he undertook an extensive tour, acquainting himself with the condition of the forests in various parts of the country. As a result of his journey he handed to the Government in 1858 an exhaustive report, »An account of Finland's forests», published in 1859 in Finnish, Swedish, and German.

(1920, in Finnish; German summary), based principally upon information gathered from working plan documents, but partly also on his own observations.

In the report of 1920 of the State Forest Committee, appointed in 1917, A. K. Cajander gives an account, primarily from a geographical point of view, of the natural prospects of forestry in Finland, afterwards published in a condensed form under the title of *Forestry-Geographical Review of Finland*[142] (1923, in German).

Forest Consumption, and the Relation between Growth and Consumption.

With regard to the amount of forest consumption in Finland, and the relation between growth and consumption, private individuals as well as committees have made calculations. Many of these, particularly the older ones, are, however, very approximate ones and based upon uncertain sources of information. The oldest calculation is as early as the fifth decade of the 19th century. Some of the calculations comprise the whole country, others only a part of it.

Among the calculations comprising the whole country, one of the most notable is the estimate, dealing with the relation between the growth and consumption of forests, which was prepared by the committee, appointed in 1916 by the Finnish Forestry Association[143] (1916, in Swedish). This committee estimated the annual growth of the forests in 1913 at 1,243 million cubic feet (35.19 million m^3), and the consumption at 1,317 million cubic feet (37.30 million m^3), the consumption thus exceeding the growth by 74 million cubic feet (2.11 million m^3). In their essay, *Statistical Exposition of Fuel Consumption and the Need of Wood in Finland*[144] (1922, in Finnish and Swedish), Karl Strömberg and Leo Krohn estimated the annual consumption during peace time at 1,377 million cubic feet (39 million m^3). In his paper, *On the Relation between Forest Growth and Wood Consumption in Finland*[145] (1923, in German), A. K. Cajander estimates that the consumption scarcely exceeds 1,400 million cubic feet (40 million m^3). As the annual forest growth, according to the results of the line-survey of the forests of

the whole country, is 1,568 million cubic feet (44.4 million m³), it seems as if the annual growth would exceed the consumption by 140—180 million cubic feet (4—5 million m³). However, the consumption estimates are in many respects (especially with regard to the home consumption of the rural population) moving on an uncertain basis. The Board of Forestry has also quite recently suggested to the Government that the Forest Research Institute should be charged with an exhaustive and in all respects reliable investigation into the forest consumption. It is also probable that an investigation of this kind will be started in the near future.

YRJÖ ILVESSALO, EINO SAARI, and M. LAPPI-SEPPÄLÄ have elaborated calculations, covering a part of the country. In his paper, *On the Relations between the Yield Capacity, the Present Yield of Forests and the Wood Consumption*[146] (1920, in Finnish; German summary), ILVESSALO presents an estimate, dealing with Savo and Karjala. Principally based upon the material collected by himself, SAARI published a research work, *The Domestic Consumption of Wood in the Country in the Province Turku-Pori*[147] (1922, in Finnish; German summary). This research differs from earlier native and foreign investigations into the consumption of wood in that the material used is much more plentiful and the treatment more versatile, besides which mathematico-statistical methods have been resorted to during the work. LAPPI-SEPPÄLÄ's publication, *On the Balance of Forest Growth and Felling as well as on the Wood Consumption and the Yield Capacity of Forest Lands in the Province of Turku-Pori*[148] (1925, in Finnish; English summary), is based partly on SAARI's investigation, supplemented in a few points by his own research material, and partly on the survey investigation into the country's forests.

Investigations Concerning the Forestry of Various Owners' Groups.

Under the management of P. W. HANNIKAINEN and afterwards A. K. CAJANDER, the forestry of the Finnish State has during this century developed into a notable source of income to the State, and thereby attained an important place in the economy of the State. The forest management principles of the State have been expounded by numerous

Government committees, especially the committees appointed by the Government in 1896 and 1917. A. K. Cajander has published a study, *State Forestry as a Business Enterprise*[149] (1921, in Finnish; German summary), describing the general business prospects of State forest management, the development and results so far, and the prospects for the future. The sawmill activity of the State has been dealt with by A. Osw. Kairamo and Adolf Burgman, the former in his paper, *The State as a Wood Working Concern*[150] (1925, in Finnish) and the latter in his paper, *The State Sawmill Industry*[151] (1925, in Finnish). The significance of the State's forestry as a source of employment is described by A. Benj. Helander in his publication, *On Employment Afforded by Forestry: I. The State Forests in 1911—1913*[152] (1923, in Finnish; German summary). — In his statistical investigation, *The Extra-Ordinary Forest Officers*[153] (1919, in Finnish), Aarne Boman gives an account of the position and activity of the State's extraordinary forest officers.

The Board of Forestry issues annually an official statistical review of the forestry of the State, and of the activity of the forest administration, these reviews being supplied with summaries in French.

Yrjö Harvia has published a research work, *The Municipal Forests of Finland*[154] (1916, in Finnish and Swedish), giving an account of the forest resources and forestry of the towns as well as of the importance of town forests to municipal economy, suggesting lines for future forest policy to the towns.

The forest ownership and forestry of rural communities is elucidated by the statistical exposition by Mauno Pekkala: *The Forest Acquisition Movement in Rural Communities in the Light of Statistics*[155] (1920, in Finnish).

In his publication, *The Commonly Owned Forests of Finland*[156] (1926, in Finnish; English summary), Mauno Pekkala gives an account of the origin, administration, and management of the commonly owned forests, also supplying statistical information about these forests.

Many Government Committees have published reports, too, on the management principles of the private forests, these reports being accom-

panied by circumstantial suggestions with a view to furthering private forestry. Among the oldest of such reports mention should particularly be made of the reports issued in 1898 and 1900 by the so-called Private Forest Committee appointed by Government in 1896. Only quite recently a report was published by the committee which the Government appointed in 1922 for planning measures with a view to improving private forestry. (The chairman of this committee, MAUNO PEKKALA, will prepare an English summary of the report.)

As a historical publication may be mentioned A. BENJ. HELANDER's *Origins of the Finnish Forestry Association Tapio: a Review of the Movement for the Promotion of Private Forestry in 1897—1907*[157] (1914, published in Finnish and Swedish).

Investigations into the Wood Working Industry and Wood Working Companies.

The wood working industry in Finland is so closely connected with forestry that, with regard to the forest investigation activity described, it is worth mentioning these investigations, too provided, they do not deal with purely technical questions.

In Finland's wood working industry the sawmill industry holds the first place. The history of this branch of industry has been examined by E. G. PALMÉN and J. T. HANHO. PALMÉN's paper, *On the Development of the Sawmill Industry in Finland*[158] (1911, in Finnish), gives an account of the origin and earlier conditions. In his publication, *Investigations into the History of Finnish Foresty during the XIX Century: I. Sawmill Industry and the Export of Sawmill Products during the 4th and 5th Decades of the XIX Century*[159] (1915, in Finnish), HANHO deals with an important phase in the history of forestry and the sawmill industry in Finland.

The period of the big rise and development of Finland's wood working industry in the latter half of last century as well as in this century, is pictured in those historical chronicles that have been published about the origin, development, and activity of the old, big wood working companies or industrial establishments. Among those that most deserve to

be mentioned are: LENNART GRIPENBERG's *Aktiebolaget W. Gutzeit & C:o 1872—1922* [160] (1924, published in Finnish and Swedish), GUSTAF LANGENSKIÖLD's *Kymmene Aktiebolag 1872—1922* [161] (1922, in Swedish), *Reposaaren Höyrysaha O/Y 1872—1922: To Celebrate the Fiftieth Anniversary of the Firm's Existence* [162] (1922, in Finnish and English), W. PARVIAINEN's *Säynätsalo, a Fragment of the Development of the Industry of Central Finland* [163] (1922, in Finnish; English summary), the publication of A. Ahlström Osakeyhtiö: *The Varkaus Mill, a Historical Sketch* [164] (1925, published in Finnish and Swedish), and KARL EKMAN's *Aug. Eklöf, Aktiebolag 1864—1924* [165] (1926, in Swedish). I. K. T. LASSILA and JOHN FLOMAN published a large volume, *The Industry and Trade of Finland I—II* [166] (1922 and 1924, in Finnish and Swedish).

The labour conditions in the wood working industry shortly before the great war are described by G. R. SNELLMAN in two official statistical research works, *An Investigation of the Finnish Paper Industry* [167] (1912, in Finnish and Swedish; French summary), and *An Investigation of the Finnish Sawmill Industry, Forest Cutting, Timber Floating and Loading Connected with It* [168] (1914, in Finnish and Swedish; French summary). More recently the Social Statistics Department of the Central Bureau of Statistics published an exposition: *Wages in the Sawmill Industry in 1913—1924* [169] (1924, in Finnish and Swedish). In order to collect information about the working, wages, housing, family and other conditions among the labourers employed in forest and floating work of the wood conversion industry, the Social Statistics Department of the Central Bureau of Statistics arranged in 1921 an inquiry, the results of which were afterwards published under the title: *An Inquiry into the Conditions of Forest and Floating Labour in the Spring of 1921* [170] (1923, in Finnish and Swedish; French summary).

With a view to safeguarding their supply of raw material, the industrial companies in the wood conversion trade acquired extensive forest territories. Primarily for social political reasons public opinion has taken up an antagonistic attitude towards the companies' acquisition of land, and this has also been considerably limited by legislative measures on the part of the State. Some ten years ago this was one of

the most prominent questions of the day, and many efforts were made to throw light upon this question by means of various investigations. The most far-reaching one of these has not been completed, but the following works have been published: AUGUST RENVALL's *A Plan for the Investigation of Acquisitions of Land by the Joint Stock Companies*[171] (1919, in Swedish), AARNE BOMAN's *Private and Joint Stock Company Ownership of Land*[172] (1920, in Finnish and Swedish; German summary), and RENVALL's and BOMAN's joint publication *Investigations of the Land Ownership of the Joint Stock Companies in the Parishes of Multia, Heinävesi, Sulkava, Ruokolahti and Luumäki: I. Introductory Part*[173] (1921, in Finnish; German summary). The same question is also elucidated in HEIKKI RENVALL's study, *The Struggle between Industry and Agriculture for the Forests of Finland*[174] (1914, published in Finnish and Swedish) and in the reports of the committees appointed by the Government (1906 and 1920).

Investigations into the Export of Forest Products and Export Duties of Forest Products.

The export of Finland's forest products has grown in a few decades to a degree previously inconceivable. It occupies such a dominant place in the country's exports that the value of all the other goods put together only amounts to 10—20 % of the whole exports. The development of the export of the forest products and their distribution among various kinds of goods and various countries has thus offered material for investigation, as interesting as it is important from a practical point of view. HEIKKI RENVALL has treated this subject in his comprehensive research work, *The Export of Finnish Forest Products Considered from the Point of View of Economics*[175] (1910, in Finnish). Shortly afterwards T. W. PAAVONEN published a statistical study, *The Export of Finnish Forest Products During the 25 Years' Period of 1886—1910*[176] (1911, in Finnish). The great importance of the export of forest products for Finnish railway traffic appears clearly from the study by TOPI KALLIO: *The Directions of the Railways from the Point of View of Export and the Public Revenue in Finland*[177] (1925, in Finnish).

Already during a score of years paper manufacturers have demanded measures for limiting the export of raw materials for paper making from the country. The projected limitation of the exports of small timber by means of export prohibition or duties has, however, been met with fierce resistance among the forest owners. A. Benj. Helander has dealt with this dispute in two of his studies: *On the Export Duties on Small Timber*[178] (1909, in Finnish and Swedish), and *Export Duties on Timber: How to Plan Our Future Policy Concerning Duties with Due Regard to Economics*[179] (1918, in Finnish). The Government has recently appointed a committee for the examination of this question.

Investigations into the Development of Timber Prices.

Since Finland began in the latter half of last century to take part in an ever increasing degree in supplying the world's markets with forest products, timber prices in Finland have considerably increased. The great war with its complex consequences later on also influenced the prices.

T. W. Paavonen, T. Heikkilä, and Eino Saari investigated the development of timber prices in Finland. On the strength of the f.o.b. values of sawmill products, published in the official export statistics, Paavonen examined the price movement of the most important sawmill products, i. e., that of planks, battens, and boards, during the period of 25 years 1886—1910. The results of his investigations were published under the title, *Has the Rise in the Prices of Sawmill Products to be Taken into Account When Timber Sales are Made?*[180] (1916, in Finnish). In his study, *The Rise in the Prices of Saw Timber*[181] (1917, in Finnish), Heikkilä examines the movement of sawlog prices in the Finnish State forests in 1871—1913. Saari published a study, *The Stumpage Price and the Sale of Saw Timber in the Finnish State Forests in 1913—1922*[182] (1924, in Finnish; German summary). In a way, this work constitutes a continuation of Heikkilä's study, but the subject is treated more extensively and more minutely, and a different investigation method was employed.

Investigations Concerning Forest Legislation.

An account of the earlier phases of the development of Finland's forest legislation is given by E. G. PALMÉN in his study, *Forest Legislation in Finland up to 1861*[183] (1914, in Finnish). ERKKI LAITAKARI has published a study, *A Survey of Forest Legislation in Different Countries*[184] (1923, in Finnish), describing the various kinds of forest laws and their application in various countries, and containing as well a condensed review of the development of forest legislation in the most prominent forest countries.

Investigations into the Distribution of the Fertile Soil.

The distribution of the fertile soil in Finland is an important question, particularly for the history of settlement, but also for agriculture and forestry, as well as for plant and zoogeography. In forest research circles, where attention was originally drawn to this question, it has been examined principally with the aid of botanical methods. The first impulse towards an elucidation of the question was given by A. K. CAJANDER who already during his researches of forest types (see p. 27) had noted the close correlation that exists between vegetation and the fertility of the soil. CAJANDER proves in his work, mentioned above (p. 34) *Principles of Silviculture I* and at the same time in Metsätaloudellinen Aikakauskirja (Review of Forestry) (1916, in Finnish) that by examining the distribution and occurrence of the more pretentious species of plants and plant communities in Finland, the distribution of the fertile soil is ascertained. Where there are plenty of pretentious species of plants or plant communities, there are also to be found considerable quantities of fertile soil. By marking on the map the places, where the more pretentious plants or plant communities occur, it is thus possible to get a general view as to the distribution of fertile soil. CAJANDER dealt rather more circumstantially with this question in his papers, *On the Distribution of Fertile Soil in Finland and on the Influence of this Distribution on the Economical Conditions of the Country*[185] (1923, in German), and *The Distribution of the Fertile Soil in Finland*[186] (1925, in Swedish; English summary), and in his previously (p. 28) mentioned

work *The Theory of Forest Types*, in which he also shows how closely the settlement of Finland has depended upon the distribution of the fertile soil.

O. J. Lukkala, in the main resorting to Cajander's research methods, has examined the distribution of the fertile soil in Finland, particularly in East-Finland, where he was in a position to make circumstantial examinations. The results of the investigations have been published under the title of *Investigations of the Distribution of the Fertile Soil Area especially in Savo and Karjala (Carelia)* [187] (1919, in Finnish; German summary). In his publication, *On the Distribution of Agricultural Settlements among the Soils of the Different Forest Types in Finland* [188] (1922, in German), K. Linkola divides Finland into 13 agricultural and plant geographical districts, differing from one another with regard to the relative abundance of fertile soils and relative richness, hereby primarily basing himself on floral observation material. Each of these districts is further divided into smaller districts. On the basis of this classification the author then points out the lines of the future agricultural development, as well as that of settlement activity.

The influence of the distribution of the fertile soil upon the fauna has been examined by O. J. Lukkala (the results are to be found in his publication mentioned above), by Ilmari Hildén: *On the Bird Fauna of the Different Forest Types* [189] (1920, in Finnish; German summary 1921), and by K. J. Valle: *Investigations of Fishing Waters in the State Forest Evo* [190] (1923, in German).

Investigations into Settlement Conditions and the Settlement Policy.

The settlement of Finland took place, and in a large degree does so still, in the shelter of the forests. Settlement needs forests, but, on the other hand, forestry also requires settlers. This close dependency of theirs on each other, has had as a result that investigations into the settlement policy very often also become forest political investigations, at any rate they approach one another very closely. In the following some of the more important of such investigations will be mentioned.

The settlement history of the State lands and the results to date are circumstantially described in report No. 1 of the State Forest Committee appointed by the Government in 1917, the report having been published in 1920. In this report a policy will be found suggested for the future organization of settlement on the State lands. The report of the Settlement Committee, appointed by the Government in 1917, was also got ready in 1920, the report dealing with the settlement question in regard to the State lands. Already earlier the sub-committee of the Landless Population had dealt in its report published in 1904 with settling prospects and settling methods with regard to the State lands. — E. CAJANDER has published a review, *The Colonization Activity of the State and the Legislation Concerning It in Finland in the Beginning of the XX Century*[191] (1925, in Finnish and Swedish).

The settlement conditions of the northern parts of Finland have been examined specially by K. T. JUTILA and E. CAJANDER. JUTILA has published a research series, comprising 4 parts, *Researches into the Economic and Colonization Conditions of the Far North and Lapland*[192] (1920, and 1923, in Finnish; English and German summary). CAJANDER has published: *Agricultural and Colonization Conditions of Tenant Farms in State Forests in the Parish of Rovaniemi*[193] (1918, in Finnish), and *Agricultural and Colonization Conditions of Tenant Farms in State Forests in the Parish of Suomussalmi*[194] (1919, in Finnish). About the same time MAUNO PEKKALA carried out a similar investigation in some West-Finnish parishes. He gives an account of these investigations in his publication, *Investigations into the Management of Tenant Farms in the State Forests in the Parishes of Kuru, Parkano and Ikaalinen*[195] (1920, in Finnish; German summary).

Investigations into the Land Granting Policy of the State.

Besides what is needed for settlements, State forest land has in Finland also been granted to private persons for forestry purposes. These land grants are from a general point of view dealt with in the above mentioned report of the State Forest Committee. MAUNO PEKKALA has published a comprehensive research work, *On the Taxation and Par-*

tition of Land in the Parishes of Kuusamo, Kemijärvi and Kuolajärvi [196] (1921, in Finnish; German summary). In his research work, *On the Forest Policy Applied to the Estates in Fee in East Finland* [197] (1919, in Finnish), Eino Saari deals with the question of grants to private persons of State forests situated on the former Estates in Fee. In 1923 the Government appointed a committee for dealing with the same question. After the committee had finished its work, a comprehensive report was published in 1924. E. J. Castrén has published a study: *The Recognition Forests and Factory Estates* [198] (1924, in Finnish).

3. Investigations Concerning Forest Utilization.

As has already been pointed out, investigations concerning forest utilization have so far been made on a very small scale in Finland. A. Benj. Helander's *Forest Utilization* [199] (1918, second edition in 1922, in Finnish), contains several results of the author's own investigations, likewise Y. Talvitie's handbook *Wood Distillation and Resin Making* [200] (1924, in Finnish). Helander has also published *Resin Tapping According to Observations Made in Lithuania, Poland and Germany* [201] (1919, in Finnish).

T. J. Hintikka has investigated the »curled wood» (in Finnish *visa*) of the white and the pubescent birch *(Betula verrucosa* and *B. odorata)*, which is much in demand by joiners, for which reason its price is high. Of the results of the investigation Hintikka has published a preliminary communication: *The »Visa» Disease of the Birches in Finland* [202] (1922, in German); according to this investigation the »Visa» formation in birch arises from the asymmetrical expansion of the pith rays. What are the causes of this pathological phenomenon, is so far unsettled.

Only the following three investigations on forest technological subjects have been published in the Acta Forestalia Fennica Series: Olli Heikinheimo's *Some Observations on the Cutting and Conservation of Fuel Wood* [203] (1919, in German), August Renvall's *The Radial Shrinkage of Laplandish Pine Wood* [204] (1923, in German), and the same author's *Observations on the Eccentricity of Laplandish Pine Stem* [205] (1923, in German). I. Lassila has only lately delivered to the press a critical review:

The Research of the Technical Properties of Trees Up to Now, Judged by Its Results and Systems[206] (in Finnish; English summary) and a historical study: *Sketches of the Earlier History of the Saw and Saw Frame*[207] (in Finnish; English summary).

As an historical publication may also be mentioned LENNART GRIPENBERG's work, *The Kymi Floating Association: A Memorial Publication Celebrating the 50 Years' Common Floating in the Basin of Päijänne 1873—1922*[208] (1924, published in Finnish and Swedish), giving a clear picture of the powerful development during last century and this of the floating conditions on the extensive Päijänne water-system. K. E. LINDBERG has prepared a study, *Legislation Concerning Floating and the Floating Conditions in Sweden and Norway*[209] (1917, in Swedish).

As the significance of chemical wood conversion has in recent years been greatly on the increase in Finland as in other countries, special attention has been paid to the chemical research of wood and particularly to the questions connected with the production of cellulose. This branch of research, however, does not belong to the domain of forestry research proper, for which reason the investigations dealing with it are here passed over. Chemical investigations of cellulose have been carried out especially by A. O. ASCHAN, G. K. BERGMAN, JARL ENCKELL, ALFONS HELSTRÖM, S. V. HINTIKKA, ERIK HÄGGLUND, F. W. KLINGSTEDT, H. ROSCHIER and O. ROUTALA and investigations concerned with dry distillation by A. O. ASCHAN and G. KOMPPA. The results of these investigations are to be found in the proceedings of the Finnish Academy of Science and the Finnish Society of Science, further in the »Meddelanden från Industriens Centrallaboratorium — Teollisuuden Keskuslaboratorion Tiedonantoja» (Proceedings of the Central Laboratory of Industries), »Acta Academiae Aboensis», »Finska Kemistsamfundets Meddelanden» (Proceedings of the Finnish Chemical Association), finally in the »Teknillinen Aikakauslehti» (Technical Periodical) and the »Teknikern» (Technician). Several investigations have simultaneously been published abroad, too, for instance in the periodicals »Der Papierfabrikant», Svensk Papperstidning» and »Kemisk Tidskrift».

Catalogue of Investigations Referred to in the Text.

(Abbreviations, see p. 6.)

[1] A. G. BLOMQVIST: *Tabeller framställande utvecklingen af jemnåriga och slutna skogsbestånd af tall, gran och björk.* Helsingfors 1872. 22 p. + 7 tables and 2 diagr.

[2] A. G. BLOMQVIST: *Undersökningar af tjocklekstillväxten hos timmerträd af tall och gran i olika delar af Finland.* Helsingfors 1897. VIII + 170 p. + 5 p. diagr.

[3] A. G. BLOMQVIST: *Finlands trädslag i forstligt hänseende beskrifna: I. Tallen, II. Granen.* F.F.M. 3, 1881 and 1883. 196 and 182 p. + 2 pl.

[4] A. G. BLOMQVIST: *Skogshushållningens nationalekonomi och synpunkter i forstpolitti.* Helsingfors 1893. 230 p.

[5] A. OSW. KIHLMAN: *Pflanzenbiologische Studien aus Russisch Lappland.* A.S. F.F.F. 6: 3, 1890. 264 + XXIV p. + 14 pl. and map.

[6] HJALMAR HJELT: *Conspectus Florae Fennicae.* A.S.F.F.F. 5, 21, 30, 35, 41, 51 and 54, 1888—1926.

[7] HJALMAR HJELT: *Utbredning af Finlands träd, buskar och ris med särskildt afseende å deras gränser.* F.F.M. 14, 1897. 43 p. + 2 maps.

[8] R. HULT: *Vedväxternas utbredning i Finland.* Vetenskapliga Meddelanden af Geografiska Föreningen i Finland 3, 1896, p. 1—61 with pl. and map.

[9] R. HULT: *Växtgeografiska anteckningar från den Finska Lappmarkens skogsregioner.* A.S.F.F.F. 16: 2, 1898. 200 p.

[10] A. K. CAJANDER: *Metsätieteellinen tutkimustoiminta ulkomailla ja ehdotus sen järjestämiseksi Suomessa.* Helsinki 1909. Liite Metsähallituksen vuosikertomukseen v. 1907. 138 p.

[11] A. K. CAJANDER: *Ueber Waldtypen.* Fennia 28 and A.F.F. 1, 1909. 175 p.

[12] A. K. CAJANDER und YRJÖ ILVESSALO: *Ueber Waldtypen II.* Drei Vorträge. Fennia 43: 3 and A.F.F. 20, 1921. 77 p.

[13] A. K. CAJANDER: *The Theory of Forest Types.* A.F.F. 29, 1926. 108 p.

A. K. CAJANDER: *Metsätyyppiteoria.* A.F.F. 29, 1925. 84 p.

[14] A. K. CAJANDER: *Was wird mit den Waldtypen bezweckt?* A.F.F. 25, 1923. 16 p.

[15] K. LINKOLA: *Studien über den Einfluss der Kultur auf die Flora in den Gegenden nördlich vom Ladogasee I—II.* A.S.F.F.F. 45: 1, 1916 and 45: 2, 1921. Part I 429 p. + 6 tables and 20 maps, Part II 490 p.

[16] K. LINKOLA: *Itä-Karjalan metsätyyppejä koskevia havaintoja.* Suomen Metsätieteellisen Seuran toiminta v. 1909—1917, A.F.F. 7, 1917, p. 224—245.

[17] K. LINKOLA: *Muistiinpanoja kasvillisuudesta talvikkityypin (Pyrola-tyypin) metsiköissä.* Mets. Aik. 1919, p. 174—182.

[18] O. J. LAKARI: *Tutkimuksia Pohjois-Suomen metsätyypeistä.* A.F.F. 14, 1920. 85 p. + 10 tables and map. Summary: Untersuchungen über die Waldtypen in Nordfinnland. 8 p.

[19] ALVAR PALMGREN: *Zur Kenntnis des Florencharakters des Nadelwaldes.* A.F.F. 22, 1922. 115 p. + map.

[20] VILJO KUJALA: *Havaintoja Kuusamon ja sen eteläpuolisten kuusimetsäalueiden metsä- ja suotyypeistä.* Cs. I.F.F. 4, 1921. 23 p. + 42 p. tables. Summary: Beobachtungen über die Wald- und Moortypen von Kuusamo und der südlich von dort gelegenen Fichtenwaldgebieten. 3 p.

[21] ALVAR PALMGREN: *Studier öfver löfängsområdena på Åland: I. Vegetationen, II. Floran, III. Statistisk undersökning af floran.* A.S.F.F.F. 42, 1915—1917. 634 p. + 16 tables and 2 maps. Part III has also been published in German: A.F.F. 22, 1922.

[22] ALVAR PALMGREN: *Die Entfernung als pflanzengeographischer Faktor.* A.S. F.F.F. 49: 1, 1921. 103 p. + 10 tables and map.

[23] ALVAR PALMGREN: *Die Artenzahl als pflanzengeographischer Charakter sowie der Zufall und die säkulare Landhebung als pflanzengeographische Faktoren.* Acta Botanica Fennica 1: 1, 1925 and Fennia 46: 2, 1925. 142 p. + 2 maps.

[24] YRJÖ ILVESSALO: *Vegetationsstatistische Untersuchungen über die Waldtypen.* A.F.F. 20, 1922. 73 p.

[25] VILJO KUJALA: *Untersuchungen über die Waldvegetation in Süd- und Mittelfinnland: I. Zur Kenntnis des ökologisch-biologischen Charakters der Pflanzenarten unter spezieller Berücksichtigung der Bildung von Pflanzenvereinen. A. Gefässpflanzen. B. Laubmoose. C. Flechten. II. Über die Begrenzung der Siedlungen.* Cs. I.F.F. 10, 1926 and 1925. Part I, A. 146 p., B. 47 p. + 2 pl., C. Ready for printing. Part II, 26 p. and appendix.

[26] RAF. BJÖRKENHEIM: *Beiträge zur Kenntnis einiger Waldtypen in den Fichtenwaldungen des deutschen Mittelgebirges.* A.F.F. 6, 1919. 65 p. + 5 tables.

[27] K. LINKOLA: *Waldtypenstudien in den Schweizer Alpen.* Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes Rübel in Zürich 1, 1924. 86 p.

[28] WIDAR BRENNER: *Studier över vegetationen i en del av västra Nyland och dess förhållande till markbeskaffenheten.* Fennia 43: 2, 1921 and Geologiska Kommissionens geotekniska meddelanden 32, 1921. 97 p. Summary: Studien über die Vegetation im westlichen Nyland (Süd-Finnland) und ihr Verhältnis zu den Eigenschaften des Bodens. 8 p.

[29] J. VALMARI: *Beiträge zur chemischen Bodenanalyse.* A.F.F. 20, 1921. 31 p. + 36 p. tables.

[30] YRJÖ ILVESSALO: *Ein Beitrag zur Frage der Korrelation zwischen den Eigenschaften des Bodens und dem Zuwachs des Waldbestandes.* A.F.F. 25, 1921. 31 p.

[31] V. T. AALTONEN: *Über den Aziditätsgrad (p_H) des Waldbodens.* Cs. I.F.F. 9, 1925. 33 p. + 16 p. tables.

[32] V. T. AALTONEN: *Über die Umsetzungen der Stickstoffverbindungen im Waldboden.* Cs. I.F.F. 10, 1926. 48 p. + 8 p. tables. Summary: The Decomposition of Nitrogenous Compounds in Woodland Soils. 5 p.

[33] V. PESOLA: *Kalsiumkarbonaatti kasvimaantieteellisenä tekijänä Suomessa.* Annales Societatis Zoolog.-Botanicæ Fennicæ Vanamo 1926. (Ready for printing.) German summary.

[34] O. J. LUKKALA: *Lisä ortsteinikysymyksen valaisemiseksi.* A.F.F. 16, 1920. 13 p. Summary: Ein Beitrag zur Beleuchtung der Ortsteinfrage. 2 p.

[35] V. T. AALTONEN: *Zur Kenntnis der Ausfällung des Eisens im Boden.* A.F.F. 25, 1923. 10 p.

[36] V. T. AALTONEN: *Versuche zur Erklärung der Schutzwirkungen von wässerigen Humusauszügen.* A.F.F. 25, 1923. 18 p.

[37] OLLI HEIKINHEIMO: *Metsänhävityksen ja polton vaikutuksesta metsämaahan.* A.F.F. 8, 1917. 28 p.

[38] V. T. AALTONEN: *Wasserverbrauch der Bäume und Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens.* A.F.F. 14, 1920. 24 p.

[39] P. KOKKONEN: *Beobachtungen über die Struktur des Bodenfrostes.* A.F.F. 30: 3, 1926. 56 p. + 17 pl.

[40] AUGUST RENVALL: *Die periodischen Erscheinungen der Reproduktion der Kiefer an der polaren Waldgrenze.* A.F.F. 1, 1912. 154 p. + map.

[41] O. J. LAKARI: *Studien über die Samenjahre und Altersklassenverhältnisse der Kiefernwälder auf dem nordfinnischen Heideboden.* A.F.F. 5, 1915. 198 p. + 13 p. tables, 5 pl. and map.

[42] L. ILVESSALO: *Tutkimuksia mäntymetsien uudistumisvuosista Etelä- ja Keski-Suomessa.* A.F.F. 6, 1917. 39 p. + 43 p. appendices, 4 tables and map. Summary: Studien über die Verjüngungsjahre der Kiefernwälder in Süd- und Mittelfinnland. 8 p.

[43] I. LASSILA: *Tutkimuksia mäntymetsien synnystä ja kehityksestä pohjoisen napapiirin pohjoispuolella.* A.F.F. 14, 1920. 95 p. + graphical table. Summary: Untersuchungen über die Entstehung und Entwicklung der Kiefernwälder nördlich vom nördlichen Polarkreise. 3 p.

[44] V. T. AALTONEN: *Kangasmetsien luonnollisesta uudistumisesta Suomen Lapissa.* Cs. I.F.F. 1, 1919. 319 p. + 16 pl. and 12 maps. Summary: Über die natürliche Verjüngung der Heidewälder im Finnischen Lappland. 56 p.

[45] O. J. LAKARI: *Tutkimuksia kuusimetsien uudistumisvuosista Etelä- ja Keski-Suomessa.* Cs. I.F.F. 4, 1921. 54 p. + 9 graphical appendices. Summary: Untersuchungen über die Verjüngungsjahre der Fichtenwälder in Süd- und Mittelfinnland. 4 p.

[46] MARTTI HERTZ: *Niinipuun uudistumisesta Suomessa.* A.F.F. 29: 5, 1925. 101 p. + 5 pl. and 2 maps. Summary: Über die Verjüngung der Linde in Finnland. 19 p.

[47] VILJO KUJALA: *Laskelmia lehtipuiden lehtikauden pituudesta ja puiden kukkimisajoista Suomessa.* Cs. I.F.F. 7, 1924. 16 p. + 26 p. tables. Summary: Berechnungen über die Länge der Laubperiode der Laubbäume und Blühzeiten der Bäume in Finnland. 8 p.

[48] A. K. CAJANDER: *Metsänhoidon perusteet: II. Suomen dendrologian pääpiirteet.* Porvoo 1917. 652 p.

[49] VILJO KUJALA: *Tervaleppä (Alnus glutinosa (L.) Gaertn.) Suomessa.* Cs. I.F.F. 7, 1924. 272 p. + 8 pl. and map. Summary: Die Schwarzerle (Alnus glutinosa (L.) Gaertn.) in Finnland. 29 p.

[50] ARTUR THESLEFF: *Eken i Östra Finland.* F.F.M. 12, 1895, p. 99—186, with 2 pl. and map.

[51] SULO LINKO: *Tammen leveneminen Maarian, Raision, Kaarinan ja Paraisten pitäjissä.* Erikoistutk. 1, 1914. 38 p. + 4 pl. and map.

[52] V. T. AALTONEN: *Über die Ausbreitung und den Reichtum der Baumwurzeln in den Heidewäldern Lapplands.* A.F.F. 14, 1920. 55 p.

[53] V. T. AALTONEN: *Über die räumliche Ordnung der Pflanzen auf dem Felde und im Walde.* A.F.F. 25, 1923. 85 p.

[54] OLLI HEIKINHEIMO: *Kuusen iän määräämisestä ja kuusen myöhäisjuurista.* Cs. I.F.F. 2, 1920. 31 p. Summary: Über die Bestimmung des Alters der Fichte und ihre Adventivwurzeln. 6 p.

[55] A. K. CAJANDER: *Metsänhoidon perusteet: I. Kasvibiologian ja kasvimaantieteen pääpiirteet.* Porvoo 1916. 735 p. + map.

[56] A. K. CAJANDER: *Einige Reflexionen über die Entstehung der Arten insbesondere innerhalb der Gruppe der Holzgewächse.* A.F.F. 21, 1921. 12 p.

[57] OLLI HEIKINHEIMO: *Kuusimuodoista ja niiden metsätaloudellisesta arvosta.* Cs. I.F.F. 2, 1920. 102 p. + 12 pl. Summary: Über die Fichtenformen und ihren forstwirtschaftlichen Wert. 11 p.

[58] A. K. CAJANDER: *Zur Frage der gegenseitigen Beziehungen zwischen Klima, Boden und Vegetation.* A.F.F. 21, 1921. 32 p.

[59] A. K. CAJANDER: *Der Anbau ausländischer Holzarten als forstliches und pflanzengeographisches Problem.* A.F.F. 24, 1923. 15 p.

[60] LAURI ILVESSALO: *Ulkomaalaisten puulajien viljelemismahdollisuudet Suomen oloja silmälläpitäen.* A.F.F. 17, 1920. 112 p. + map. Summary: Über die An-

baumöglichkeit ausländischer Holzarten mit spezieller Hinsicht auf die finnischen Verhältnisse. 42 p.

[61] A. F. TIGERSTEDT: *Arboretum Mustila: I. Havupuut.* A.F.F. 24, 1922. 231 p. + 51 pl. Summary: Arboretum Mustila: I. Conifers. 14 p.

[62] FREDR. ELFVING: *Vedväxterna i universitetets i Helsingfors botaniska trädgård.* Helsingfors 1913. 54 p. + 4 pl.

[63] LAURI ILVESSALO: *Lehtikuusenviljelys Suomessa.* Erikoistutk. 5, 1916. 108 p. + 8 pl. and map. Summary: Anbau der Lärche in Finnland. 4 p.

[64] LAURI ILVESSALO: *Raivolan lehtikuusimetsä.* Cs. I.F.F. 5, 1923. 72 p. + 11 p. tables, 6 pl. and 8 maps. Summary: Der Lärchenwald bei Raivola. 15 p.

[65] OLLI HEIKINHEIMO: *Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin.* A.F.F. 4, 1915. 264 p. + 85 pl., 4 maps and 149 p. tables. Summary: Der Einfluss der Brandwirtschaft auf die Wälder Finnlands. 59 p.

[66] THOM. CANNELIN: *Svedjebrukets betydelse för våra skogar för land och folk.* Specialund. 9, 1917. 92 p.

[67] E. VUORI: *Studien über die durch Brandkultur entstandenen Nadelholzbestände des Staatsforstes Vesijako.* A.F.F. 2, 1913. 12 p.

[68] L. ILVESSALO: *Versuche mit ausländischen Holzarten im Staatsforst Vesijako.* A.F.F. 2, 1913. 18 p.

[69] O. J. LUKKALA: *Lehdeksien tekotapa Lounais-Suomessa ja sen metsänhoidollinen merkitys.* A.F.F. 16, 1920. 18 p. + pl. Summary: Das Abwipfeln in südwestlichen Finnland und seine forstliche Bedeutung. 2 p.

[70] A. K. CAJANDER: *Metsiemme uudistushakkaukset toisiinsa verrattuina.* Helsinki 1910. 52 p.

[71] G. HJ. ENROTH: *Lohkohakkauksesta Suomen sotilasvirkataloilla.* Erikoistutk. 4, 1915. 106 p.

[72] OLLI HEIKINHEIMO: *Pohjois-Suomen kuusimetsien hoito.* Cs. I.F.F. 5, 1922. 123 + 111 p. + 9 pl. Summary: Über die Bewirtschaftung der Fichtenwälder Nord-Finnlands. 8 p.

[73] O. J. LAKARI: *Tutkimuksia kuusen karsimisesta.* Cs. I.F.F. 2, 1920. 38 p. + 9 pl. Summary: Unteruchungen über die Astung der Fichte. 5 p.

[74] V. T. AALTONEN: *Über neuere forstliche Betriebsarten in Deutschland.* A.F.F. 25, 1924. 20 p. + map.

[75] VILJO KUJALA: *Untersuchungen über den Einfluss von Waldbränden auf die Vegetation in Nordfinnland.* Cs. I.F.F. 10, 1926. 37 p. + 2 pl.

[76] EINO SAARI: *Kuloista, etupäässä Suomen valtionmetsiä silmällä pitäen.* A.F.F. 26, 1923. 142 p. Summary: Forest Fires in Finland with Special Reference to the State Forests. 13 p.

[77] ONNI LÖNNROTH: *Kulovalkeat kruununmetsissä.* S.My.J. 1913, p. 523—535 with diagr. appendix.

[78] A. J. BONSDORFF: *Studien über die Sturmrichtungen in Finnland.* A.F.F. 8, 1917. 105 p. + 8 maps.

[79] A. J. BONSDORFF: *Beiträge zur Kenntnis der Sturmschäden in Finnland.* A.F.F. 8, 1918. 55 p. + pl., diagr. and 3 maps.

[80] OLLI HEIKINHEIMO: *Myrskyn tuhoista Raivolan lehtikuusimetsässä syyskuun 23 p:nä 1924.* Cs.I.F.F. 1926. (Ready for printing.) Summary: Über die Sturmschäden im Lärchenwald bei Raivola d. 23 September 1924.

[81] OLLI HEIKINHEIMO: *Suomen lumituhoalueet ja niiden metsät.* Cs.I.F.F. 3, 1920. 134 p. + 16 pl. Summary: Die Schneeschadengebiete in Finnland und ihre Wälder. 17 p.

[82] LAURI ILVESSALO: *Suomen lahden ulkosaarten lentohietiköt ja niiden sitomismahdollisuudet.* Cs.I.F.F. 1926. (Ready for printing.) Summary: Die Dünen der Ausseninseln des Finnischen Meerbusens und ihre Bindungsmöglichkeiten.

[83] UUNIO SAALAS: *Die Fichtenkäfer Finnlands: Studien über die Entwicklungsstadien, Lebensweise und geographische Verbreitung der an Picea excelsa Link. lebenden Coleopteren nebst einer Larvenbestimmungstabelle I—II.* Annales Academiae Scientarum Fennicae, Ser. A., Tom. VIII, No. 1, 1917 (XXII + 547 p. + 9 pl. and map) and Tom. XXII, No. 1, 1923 (X + 746 p. + 28 pl.).

[84] UUNIO SAALAS: *Kaarnakuoriaisista ja niiden aiheuttamista vahingoista Suomen metsissä.* A.F.F. 10, 1919. 374 p. + 13 pl. and 2 maps. Summary: Über die Borkenkäfer und den durch sie verursachten Schaden in den Wäldern Finnlands. 39 p.

[85] K. O. ELFVING: *Sjukdomar och sjukdomsorsaker i skogskulturer.* S.My.J. 22, 1905, p. 82—123, with 11 p. appendices.

[86] ARTUR THESLEFF: *Något om parasitiska och på vedväxter förekommande Basidiomyceter.* F.F.M. 11, 1893, p. 105—127.

[87] ARTUR THESLEFF: *Studier öfver basidsvampfloran i sydöstra Finland med hänsyn till dess sammansättning, fysiognomi, fenologi och ekologi.* Bidrag till kännedom af Finlands natur och folk 79: 1, 1919. 140 p.

[88] J. I. LINDROTH: *Beiträge zur Kenntnis der Zersetzungserscheinungen des Birkenholzes.* Naturwissenschaftliche Zeitschrift für Land- und Forstwirtschaft 2, 1904, p. 393—406.

[89] J. I. LIRO: *Kulturversuche mit finnischen Rostpilzen I—II.* A.S.F.F.F. 29: 6—7, 1906—1907. 25 + 58 p.

[90] J. I. LIRO: *Uredineae Fennicae, Finlands Rostsvampar.* Bidrag till kännedom af Finlands natur och folk 65, 1908. 642 p.

[91] S. E. MULTAMÄKI: *Metsälaiduntamisesta ja hakamaiden hoidosta.* Erikoistutk. 7, 1916. 92 p.

[92] H. R. SANDBERG: *Reseberättelse afgifven på grund af en med statsanslag före-*

tagen forstlig studieresa till Inari, Utsjoki och Enontekis lappmarker. F.F.M. 15, 1898, p. 133—203, with 11 pl. and map.

[93] AUGUST RENVALL: *Suojametsäkysymyksestä I—VI.* A.F.F. 11, 1919. 654 p. Summary (by OLLI HEIKINHEIMO): Über die Schutzwaldfrage. A.F.F. 11, Suppl., 1921. 12 p.

[94] OLLI HEIKINHEIMO: *Suomen metsärajametsät ja niiden vastainen käyttö.* Cs. I.F.F. 4, 1921. 71 p. + 7 pl. Summary: Die Waldgrenzwälder Finnlands und ihre künftige Nutzung. 20 p.

[95] A. K. CAJANDER: *Studien über die Moore Finnlands.* A.F.F. 2, 1913. 208 p. + 20 pl., 1 diagr. and 4 maps.

[96] A. L. BACKMAN: *Torvmarksundersökningar i mellersta Österbotten.* A.F.F. 12, 1920. 190 p. + 3 pl. and map. Summary: Mooruntersuchungen im mittleren Österbotten. 22 p.

[97] VÄINÖ AUER: *Piirteitä Keski-Pohjanmaan soistumistavoista.* Cs.I.F.F. 3, 1921. 71 p. + 2 pl. Summary: Über Versumpfungsprozesse im Mittel-Österbotten. 11 p.

[98] VÄINÖ AUER: *Zur Kenntnis der Stratigraphie der mittel-österbottnischen Moore.* A.F.F. 18, 1921. 40 p. + 2 pl.

[99] VÄINÖ AUER: *Tutkimuksia Lapin tulvamailta.* Cs.I.F.F. 4, 1921. 72 p. Summary: Untersuchungen in den Überschwemmungsgebieten Lapplands. 7 p.

[100] VÄINÖ AUER: *Suotutkimuksia Kuusamon ja Kuolajärven vaara-alueilta.* Cs. I.F.F. 6, 1922. 257 p. + 10 pl. and 4 appendices. Summary: Moorforschungen in den Vaaragebieten von Kuusamo und Kuolajärvi. 110 p.

[101] VILJO KUJALA: *Keski-Pohjanmaan soiden synnystä.* Cs.I.F.F. 8, 1924. 15 p. Summary: Ein Beitrag zur Kenntnis der Entstehung der Moore in Mittelösterbotten. 9 p.

[102] VÄINÖ AUER: *Über die Entstehung der Stränge auf den Torfmooren.* A.F.F. 12, 1920. 145 p. + 7 tables and appendix.

[103] ANTTI TANTTU: *Ueber die Entstehung der Bülten und Stränge der Moore.* A.F.F. 4, 1915. 24 p.

[104] O. J. LUKKALA: *Studien über das Verhältnis zwischen dem Moortypus und den Oberflächentorf der Moore.* A.F.F. 16, 1920. 21 p.

[105] H. WARÉN: *Untersuchungen über die botanische Entwicklung der Moore mit Berücksichtigung der chemischen Zusammensetzung des Torfes.* Suomen Suoviljelysyhdistyksen tieteellisiä julkaisuja 5, 1924. 91 p. + 4 p. tables.

[106] O. J. LUKKALA: *Tutkimuksia soiden kantokerroksista.* A.F.F. 16, 1920. 72 p. + 3 pl. Summary: Untersuchungen über die Stubbenschichten der Moore. 4 p. See also O. J. LUKKALA: *Untersuchungen über die Stubbenschichten und Feuchtigkeitschwankungen der Moore.* Annales Academiae Scientarum Fennicae, Ser. A., Tom. XIX, 1922.

[107] RAFAEL HERLIN: *Paläontologisk-växtgeografiska studier i norra Satakunta.* Vetenskapliga Meddelanden af Geografiska Föreningen i Finland 3, 1896, p. 117—216, with pl. and map.

[108] VÄINÖ AUER: *Die postglaziale Geschichte des Vanajavesisees.* Cs.I.F.F. 8, 1924. 134 p. + 10 pl. and 11 appendices.

[109] VÄINÖ AUER: *Investigations of the Ancient Flora of Häme (Tavastland).* Cs. I.F.F. 9, 1925. 33 p. + 94 p. tables and lists + 3 appendices.

[110] A. L. BACKMAN und ASTRID CLEVE-EULER: *Die fossile Diatomeenflora in Österbotten.* A.F.F. 22, 1922. 74 p. + pl. and 18 tables.

[111] ANTTI TANTTU: *Ojitettujen soiden metsittymisestä.* A.F.F. 5, 1915. 221 p. + 14 pl., 2 appendices and 2 maps. Summary: Studien über die Aufforstungsfähigkeit der entwässerten Moore. 32 p.

[112] S. E. MULTAMÄKI: *Suomen soista ja niiden metsittämisestä.* A.F.F. 16, 1920. 83 p. + appendix and map. Summary: Über die Moore Finnlands und ihre Aufforstung. 8 p.

[113] S. E. MULTAMÄKI: *Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden metsänkasvusta.* A.F.F. 27, 1923. 107 p. + 14 pl. and 9 appendices. Summary: Untersuchungen über das Waldwachstum entwässerter Torfböden. 13 p.

[114] P. KOKKONEN: *Beobachtungen über das Wurzelsystem der Kiefer in Moorböden.* A.F.F. 25, 1923. 20 p. + pl.

[115] P. KOKKONEN: *Tutkimuksia viemärien kuntoon vaikuttavista seikoista.* A.F.F. 27, 1923. 184 p. + 16 pl. Summary: Studies on the Circumstances Affecting the Condition of Drainage Canals. 36 p.

[116] THEODOR HOMÉN: *Våra skogar och vår vattenhushållning.* Helsingfors 1917. 290 p. + 11 appendices.

[117] VÄINÖ AUER: *Eräitä vastaisia tehtäviä suotutkimuksen alalla Suomessa.* Cs. I.F.F. 8, 1924. 28 p. Summary: Über einige künftige Aufgaben der Moorforschung in Finnland. 27 p.

[118] WERNER CAJANUS: *Ueber die Entwicklung gleichaltriger Waldbestände, Eine statistische Studie I.* A.F.F. 3, 1914. 142 p. + 12 graph. tables.

[119] YRJÖ ILVESSALO: *Linja-arvioimisen tarkkuudesta.* Suomen Metsätieteellisen Seuran toiminta v. 1917—1920, A.F.F. 14, 1920, p. 162—171.

[120] M. LAPPI-SEPPÄLÄ: *Linja-arvioimisesta ja sen tarkkuudesta.* Cs.I.F.F. 7, 1924. 48 p. Summary: Über die Linientaxierung und deren Genauigkeit. 6 p.

[121] J. W. LINDEBERG: *Über die Berechnung des Mittelfehlers des Resultates einer Linientaxierung.* A.F.F. 25, 1924. 22 p.

[122] WERNER CAJANUS: *Puunrungon muotoa koskevia tutkimusmetoodeja.* S.My.J. 1911, p. 363—370. Summary: Über zahlenmässige Darstellung der Stammformen der Waldbäume. 2 p.

[123] O. J. LAKARI: *Tutkimuksia männyn muodosta.* Cs.I.F.F. 3, 1920 and A.F.F. 16, 1920. 30 p. Summary: Untersuchungen über die Form der Kiefer. 8 p.

[124] YRJÖ ILVESSALO: *Tutkimuksia metsätyyppien taksatoorisesta merkityksestä.* A.F.F. 15, 1920. 157 p. + 51 p. tables, 51 graph. tables and map. Summary: Untersuchungen über die taxatorische Bedeutung der Waldtypen. 26 p.

[125] YRJÖ ILVESSALO: *Mäntymetsikköjen valtapuitten kasvusta mustikka- ja kanervatyyppien kankailla Salmin kruunupuistossa.* A.F.F. 6, 1916. 58 p. + 33 p. tables and 4 p. graph. tables. Summary: Untersuchungen über das Wachstum der vorherrschenden Bäume in Kiefernbeständen von Myrtillus- und Callunatyp. 4 p.

[126] YRJÖ ILVESSALO: *Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille.* A.F.F. 15, 1920. 20 p. text + 58 p. tables and 16 p. graph. tables. Summary: Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland. 9 p.

[127] V. T. AALTONEN: *Metsikön itseharventumisesta ja puiden kasvutilasta luonnonmetsissä.* Cs.I.F.F. 9, 1925. 17 p. Summary: Über die Selbstabscheidung und den Wuchsraum der Bäume in Naturbeständen. 3 p.

[128] V. T. AALTONEN: *Allgemeines über die Einwirkung der Bäume auf einander.* A.F.F. 29: 1, 1925. 19 p.

[129] O. J. LAKARI: *Ehdotus kasvutaulujen laatimiseksi Pohjois-Suomen metsiä varten.* A.F.F. 12, 1919. 9 p.

[130] O. J. LAKARI: *Tutkimuksia kuusen ja männyn kasvusuhteista Pohjois-Suomen paksusammaltyypillä.* Cs.I.F.F. 2, 1920. 165 p. Summary: Untersuchungen über die Zuwachsverhältnisse der Fichte und Kiefer auf dem Dickmoostypus in Nordfinnland. 15 p.

[131] T. HEIKKILÄ: *Kasvututkimuksia Perä-Pohjolasta.* A.F.F. 29: 4, 1925. 31 p. Summary: Zuwachsuntersuchungen aus Nordnord-Finnland. 3 p.

[132] ERIK LÖNNROTH: *Untersuchungen über die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger naturnormaler Kiefernbestände basiert auf Material aus der Südhälfte Finnlands.* A.F.F. 30: 1, 1925. 269 p. + 60 graph. tables.

[133] ERIK LÖNNROTH: *Der stereometrische Bestandesmittelstamm.* A.F.F. 30: 2, 1926. 35 p. + 4 graph. tables.

[134] ERKKI LAITAKARI: *Tutkimuksia sääsuhteiden vaikutuksesta männyn pituus- ja paksuuskasvuun.* A.F.F. 17, 1920. 53 p. + 3 tables and 2 graph. tables. Summary: Untersuchungen über die Einwirkung der Witterungsverhältnisse auf den Längen- und Dickenwachstum der Kiefer. 4 p.

[135] YRJÖ ILVESSALO: *The Forests of Finland: The Forest Resources and the Condition of the Forests.* Cs. I.F.F. 9, 1924. 40 p. + 19 graph. tables and maps.

YRJÖ ILVESSALO: *Les Forêts de la Finlande.* Helsinki 1924. 36 p. + 19 graph. tables and maps.

YRJÖ ILVESSALO: *Suomen metsät: Metsävarat ja metsien tila.* Cs. I.F.F. 9, 1924. 33 p. + 19 graph. tables and map.

YRJÖ ILVESSALO: *Finlands skogar: Skogstillgångarna och skogarnas tillstånd.* Cs. I.F.F. 9, 1924. 34 p. + 19 graph. tables and maps.

[136] OLLI HEIKINHEIMO: *Suomen metsien metsänhoidollinen tila.* Cs.I.F.F. 9, 1924. 12 p. + 6 tables.

[137] EDMUND VON BERG: *Die Wälder in Finnland.* Jahrbuch der kgl. sächs. Akademie zu Tharandt 13, 1859. 118 p.

[138] A. BENJ. HELANDER: *Forêts privées.* Atlas de Finlande 1910, Helsingfors 1910—1911. 18 p. + map.

[139] WERNER CAJANUS—YRJÖ ILVESSALO: *Tutkimuksia yksityismetsien tilasta Hämeen läänin keskiosissa.* A.F.F. 26, 1923. 114 p. + 23 p. tables and diagrs. and 2 maps. Summary: Untersuchungen über den Zustand der Privatwälder in den mittleren Teilen des Regierungsbezirkes Häme (Tavastland). 15 p.

[140] S. E. MULTAMÄKI: *Tutkimuksia metsien tilasta Savossa ja Karjalassa.* A.F.F. 9, 1919. 167 p. + 9 tables, 11 chartogr. and 2 maps. Summary: Untersuchungen über den Zustand der Wälder in Savo und Karjala. 33 p.

[141] OLLI HEIKINHEIMO: *Pohjois-Suomen kuusimetsien esiintyminen, laajuus ja puuvarastot.* Cs.I.F.F. 3, 1920 and A.F.F. 15, 1920. 163 p. + map. Summary: Vorkommen, Umfang und Holzvorräte der Fichtenwälder in Nordfinnland. 6 p.

[142] A. K. CAJANDER: *Forstlich-geographische Übersicht Finnlands.* A.F.F. 25, 1923. 12 p.

[143] K. LINDBERG, GÖSTA BJÖRKENHEIM, A. K. CAJANDER, AXEL PALMGREN och W. G. THOMÉ: *Överavverkas landets skogar och, om så är fallet, vilka åtgärder borde vidtagas för att hindra denna överavverkning?* Mets. Aik. 1916, p. 150—165, with 4 tables.

[144] KARL STRÖMBERG ja LEO KROHN: *Tilastollinen selostus polttoainekulutuksesta sekä puuaineen tarpeesta Suomessa.* Voima- ja Polttoainetaloudellisen Yhdistyksen julkaisuja, 1922. 12 p. + 15 graphical a. o. tables.

KARL STRÖMBERG och LEO KROHN: *Statistisk utredning angående bränsleförbrukningen i Finland samt behovet av trävirke.* Mets. Aik. 1922, p. 253—275.

[145] A. K. CAJANDER: *Über das Verhältnis zwischen Waldzuwachs und Holzverbrauch in Finnland.* A.F.F. 25, 1923. 8 p.

[146] YRJÖ ILVESSALO: *Metsämaitten puuntuotantokyvyn, nykyisen tuoton ja kulutuksen välisestä suhteesta.* A.F.F. 15, 1920. 8 p. Summary: Über das Verhältnis zwischen der Holzkonsumtion und der Holzertragsfähigkeit der Waldböden in Finnland. 1 p.

[147] EINO SAARI: *Kotitarvepuun kulutus maaseudulla Turun ja Porin läänissä.* Cs. I.F.F. 5, 1922. 171 p. Summary: Über den Verbrauch des Holzes im Hausbedarf auf dem Lande in dem Län Turku-Pori (Åbo-Björneborg). 18 p.

[148] M. LAPPI-SEPPÄLÄ: *Metsän kasvun ja hakkuun välisestä suhteesta sekä puunkulutuksesta ja metsämaitten tuottokyvystä Turun—Porin läänissä.* Cs.I.F.F. 9, 1925. 30 p. + map. Summary: On the Balance of Forest Growth and Felling as well as on the Wood Consumption and the Yield Capacity of Forest Lands in the Province of Turku-Pori. 6 p.

[149] A. K. CAJANDER: *Valtion metsätalous liikeyrityksenä.* A.F.F. 18, 1921. 38 p. Summary: Die Staatswaldwirtschaft Finnlands als Geschäftsunternehmen. 3 p.

[150] A. OSW. KAIRAMO: *Valtio puuteollisuuden harjoittajana.* Yhteiskunta-taloudellinen Aikakauskirja (Review of Social Economy) 1925, p. 118—141.

[151] ADOLF BURGMAN: *Valtion sahateollisuus.* Yhteiskunta-taloudellinen Aikakauskirja (Review of Social Economy) 1925, p. 204—237.

[152] A. BENJ. HELANDER: *Metsätalouden tarjoamasta ansiotyöstä: I. Kruununmetsät vv. 1911—1913.* A.F.F. 26, 1923. 104 p. + 4 tables. Summary: Der Arbeitsbedarf in der Forstwirtschaft. 13 p.

[153] AARNE BOMAN: *Metsäkonduktöörit.* Erikoistutk. 10, 1919. 84 p. + 33 p. tables.

[154] YRJÖ HARVIA: *Suomen kaupunkien metsät.* Erikoistutk. 6, 1916. 72 p. — 25 p. tables and other appendices.

YRJÖ HARVIA: *De finska städernas skogar.* Kommunala Centralbyråns i Finland skrifter IV, 1916. 76 p. + 26 p. tables and other appendices.

[155] MAUNO PEKKALA: *Maalaiskuntien maiden hankintaliike tilaston valossa.* Maatalousviikko Helsingissä 8—14 p:nä jouluk. 1920, p. 460—472. Porvoo 1921.

[156] MAUNO PEKKALA: *Suomen yhteismetsät.* A.F.F. 1926. (Ready for printing.) English summary.

[157] A. BENJ. HELANDER: *Suomen Metsänhoitoyhdistys Tapion synty; katsaus virtauksiin yksityismetsänhoidon alalla vv. 1897—1907.* Helsinki 1914, Suomen Metsänhoitoyhdistys Tapio. 124 p.

A. BENJ. HELANDER: *Finska Skogsvårdsföreningen Tapios uppkomst. En återblick på verksamheten för den privata skogshushållningens höjande under åren 1897—1907.* Helsingfors 1914, Finska Skogsvårdsföreningen Tapio. 120 p.

[158] E. G. PALMÉN: *Suomen sahaliikkeen kehityksestä.* Suomalaisen Tiedeakatemian esitelmät ja pöytäkirjat 1911: 1, p. 88—105.

[159] J. T. HANHO: *Tutkimuksia Suomen metsätalouden historiasta 19. vuosisadalla: I. Sahateollisuudesta ja sahantuotteiden viennistä 1840- ja 1850-luvuilla.* Erikoistutk. 3, 1915. 197 p.

[160] LENNART GRIPENBERG: *Aktiebolaget W. Gutzeit & C:o 1872—1922.* Helsinki 1924. 156 p. + 55 ills., 2 diagrs. and 2 maps.

[161] GUSTAF LANGENSKIÖLD: *Kymmene Aktiebolag 1872—1922.* Kouvola 1922. 145 + XXI p. + 21 pl. and map.

[162] *Reposaaren Höyrysaha O/Y 1872—1922: To Celebrate the Fiftieth Anniversary of the Firms Existence.* Helsinki 1922. 87 p. + 2 maps.

[163] (W. PARVIAINEN:) *Säynätsalo, palanen Keski-Suomen teollisuuden kehityskulkua.* Jyväskylä 1922. 132 p. English summary 4 p.

[164] *Varkauden tehdas, historiallinen katsaus.* Helsinki 1925. 27 p.+6 pl. and 2 maps. *Varkaus bruk, historisk översikt.* Helsingfors 1925. 27 p. + 6 pl. and 2 maps.

[165] KARL EKMAN: *Aug. Eklöf, Aktiebolag 1864—1924.* Borgå 1926. 168 p. + 14 pl.

[166] I. K. T. LASSILA ja JOHN FLOMAN: *Suomen teollisuus ja kauppa I—II. Finsk industri och handel I—II.* Helsinki 1922 and 1924. 281 + 310 p.

[167] G. R. SNELLMAN: *Tutkimus Suomen paperiteollisuudesta.* Työtilasto XIV, 1912. 249 p. + 98 p. tables, 7 diagrs. and map. Summary: Recherches sur l'industrie du papier en Finlande. 6 + 7 p.

G. R. SNELLMAN: *Undersökning angående pappersindustrin i Finland.* Arbetsstatistik XIV, 1912. 246 p. + 98 p. tables, 7 diagrs. and map. Summary: Recherches sur l'industrie du papier en Finlande. 6 + 8 p.

[168] G. R. SNELLMAN: *Tutkimus Suomen sahateollisuudesta sekä sen yhteen kuuluvista metsänhakkuusta, lauttauksesta ja lastauksesta.* Työtilasto XVI, 1914. 227 p. + 164 p. tables and 8 diagrs. Summary: Recherches sur l'industrie des scieries Finlandaises et sur les coupes de forêts, le flottage et le chargement. 7 + 17 p.

G. R. SNELLMAN: *Undersökning angående sågindustrin samt därmed i sammanhang stående afverkning, flottning och inlastning i Finland.* Arbetsstatistik XVI, 1914 225 p. + 164 p. tables and 8 diagrs. Summary: Recherches sur l'industrie des scieries Finlandaises et sur les coupes de forêts, le flottage et le chargement. 7 + 17 p.

[169] *Sahateollisuuden työpalkat vuosina 1913—1924 — Arbetslönerna inom sågindustrien åren 1913—1924.* Sosialinen Aikakauskirja — Social Tidskrift (Social Review) 1924, p. 570—578, 615—623 and 761—768.

[170] *Tutkimus metsä- ja uittotyöntekijäin oloista keväällä 1921.* Suomen Virallinen Tilasto XXXII, Sosialisia Erikoistutkimuksia IV, 1923. 46 p. + 7 p. appendices. Summary: Recherche sur les conditions des ouvriers de l'abattage des bois et du flottage en printemps 1921.

Undersökning angående arbetsförhållandena bland skogs- och flottningsarbetarna våren 1921. Finlands officiella statistik XXXII, Sociala Specialundersökningar IV, 1924. 54 p. + 7 p. appendices. Summary: Recherche sur les conditions des ouvriers de l'abattage des bois et du flottage en printemps 1921.

[171] AUGUST RENVALL: *Program för utredningen af industrins jordförvärf.* A.F.F. 13, 1919. 158 p.

[172] AARNE BOMAN: *Yksityisten ja yhtiöiden maanomistus — Enskildas och bolags jordbesittning.* A.F.F. 13, 1920. 88 p. Summary: Das ländliche Grundeigentum im Besitz von Privaten und von Aktiengesellschaften. 16 p.

[173] AUGUST RENVALL ja AARNE BOMAN: *Tutkimuksia yhtiöiden maanomistuksesta Multian, Heinäveden, Sulkavan, Ruokolahden ja Luumäen kunnissa: I. Johdannolli-*

nen osa. A.F.F. 19, 1921. 160 p. + 5 maps. Summary: Untersuchungen über den Grundbesitz der Aktiengesellschaften in den Kommunen Multia, Heinävesi, Sulkava, Ruokolahti und Luumäki: I. Einleitender Teil. 33 p.

[174] HEIKKI RENVALL: *Teollisuuden ja maatalouden välinen taistelu Suomen metsistä.* Helsinki 1914. 150 p.

HEIKKI RENVALL: *Striden om Finlands skogar.* Handelsgillets i Helsingfors Bibliotek 2, 1915. 98 p. + appendix 7 p. and map.

[175] HEIKKI RENVALL: *Suomen metsäntuotteiden vienti kansantaloudelliselta kannalta.* Helsinki 1910. 315 p.

[176] T. W. PAAVONEN: *Suomen metsäntuotteiden vienti 25-vuotiskaudella 1886—1910.* Suomen Metsänhoitoyhdistys Tapion julkaisuja 1, 1911. 84 p. + 2 graph. tables.

[177] TOPI KALLIO: *Rautateiden suunnat viennin kannalta ja valtion tulot Suomessa.* Helsinki 1925. 279 p. + 28 p. tables.

[178] A. BENJ. HELANDER: *Pienemmän puutavaran vientitulleista.* Suomen Metsänhoitoyhdistys Tapion I vuosijulkaisu, 1909. 93 p. + 3 tables and map.

A. BENJ. HELANDER: *Om exporttullar på klenvirke.* F.F.M. 26, 1909, p. 520—623.

[179] A. BENJ. HELANDER: *Puutavaran vientitullit, vastaisen tullipolitiikkamme suunnittelua kansantaloutemme kannalta.* Helsinki 1918. 56 p.

[180] T. W. PAAVONEN: *Onko sahatuotteiden hintojen kohoaminen otettava huomioon metsänmyynneistä päätettäessä?* Evon Metsänvartijakoulu 1876—1916, p. 22—31.

[181] T. HEIKKILÄ: *Sahatukkien hintain kallistuminen.* Mets. Aik. 1917, p. 18—30.

[182] EINO SAARI: *Sahapuun kantohinta ja menekki Suomen valtionmetsissä vv. 1913—1922.* A.F.F. 27, 1924. 110 p. + map. Summary: Preis und Absatz des Sägeholzes in den Staatswäldern Finnlands in den Jahren 1913—1922. 14 p.

[183] E. G. PALMÉN: *Suomen metsälainsäädäntö vuoteen 1861.* Yhteiskunta-taloudellinen Aikakauskirja (Review of Social Economy) 1914, p. 103—137.

[184] ERKKI LAITAKARI: *Katsaus eri maiden metsälainsäädäntöön.* Erikoistutk. 12, 1923. 83 p.

[185] A. K. CAJANDER: *Über die Verteilung des fruchtbaren Bodens in Finnland und über den Einfluss dieser Verteilung auf die Wirtschaftlichen Verhältnisse im Lande.* A.F.F. 25, 1923. 17 p.

[186] A. K. CAJANDER: *Den bördiga markens fördelning i Finland.* Nordisk Statistisk Tidskrift 1925, p. 329—348. Summary: The Distribution of Fertile Soil in Finland. 2 p.

[187] O. J. LUKKALA: *Tutkimuksia viljavan maa-alan jakautumisesta etenkin Savossa ja Karjalassa.* A.F.F. 9, 1919. 223 p. + 2 tables and 17 maps. Summary: Untersuchungen über die Verteilung des fruchtbaren Bodenareals in den Landschaften Savo (Sawolaks) und Karjala (Karelien). 29 p.

[188] K. LINKOLA: *Zur Kenntnis der Verteilung der landwirtschaftlichen Siedlungen auf die Böden verschiedener Waldtypen in Finnland.* A.F.F. 22, 1922. 67 p.

[189] ILMARI HILDÉN: *Linnustosta eri metsätyypeillä.* Suomen Metsätieteellisen Seuran toiminta v. 1917—1920, A.F.F. 14, 1920, p. 139—150. Summary: Über die Vogelfauna verschiedener Waldtypen. A.S.F.F.F. 48: 5, 1921. 7 p.

[190] K. J. VALLE: *Fischwasseruntersuchungen im Staatsrevier Evo.* A.F.F. 25, 1923. 34 p. + 4 pl. and map.

[191] E. CAJANDER: *Valtion asutustoiminta ja sitä koskeva lainsäädäntö Suomessa XX. vuosisadan alussa.* Maatalousministeriön julkaisu IV, 1925. 115 p.

E. CAJANDER: *Statens kolonisationsverksamhet och kolonisationslagstiftningen i Finland vid början av XX. seklet.* Lantbruksministeriets publikation IV, 1925. 121 p.

[192] K. T. JUTILA: *Tutkimuksia Perä-Pohjolan ja Lapin talous- ja asutusoloista.* A.F.F. 18, 1920 and 28, 1923. Four parts. Together 571 p. + 3 maps. Summary: Researches into the Economic and Colonization Conditions of Perä-Pohjola and Lappi (Lapland). 3 + 4 + 3 p. German summary in part II (A.F.F. 18). 16 p.

[193] E. CAJANDER: *Asutus- ja maatalousoloista valtion metsätorpissa Rovaniemen pitäjässä.* Asutushallituksen tiedonantoja, sarja I: 1, 1918. 59 p.

[194] E. CAJANDER: *Asutus- ja maatalousoloista valtion metsätorpissa Suomussalmen pitäjässä.* Asutushallituksen tutkimustoimiston julkaisuja n:o 2, 1919. 78 p. + 1 table and map.

[195] MAUNO PEKKALA: *Tutkimuksia kruununmetsätorppien taloudesta Kurun, Parkanon ja Ikaalisten pitäjissä.* A.F.F. 17, 1920. 78 p. Summary: Untersuchungen über die Wirtschaftsverhältnisse der Kötnerhöfe in den Staatsforsten. 8 p.

[196] MAUNO PEKKALA: *Verollepano- ja jakotoimituksista Kuusamon, Kemijärven ja Kuolajärven knihtikontrahtipitäjissä.* A.F.F. 21, 1921. 230 p. Summary: Über die Besteuerungs- und Landeinteilungsmassnahmen in den Kirchspielen Kemijärvi, Kuolajärvi und Kuusamo. 5 p.

[197] EINO SAARI: *Itä-Suomen lahjoitusmailla noudatetusta metsäpolitiikasta.* A.F.F. 12, 1919. 94 p. + appendix.

[198] E. J. CASTRÉN: *Rekognitiometsät ja tehdastilat.* Maatalousministeriön julkaisuja, 1924. 91 p.

[199] A. BENJ. HELANDER: *Metsänkäyttöoppi.* 2 painos. Porvoo 1922. 584 p.

[200] Y. TALVITIE: *Puun hiilto ja hartsin valmistus.* Porvoo 1924. 547 p.

[201] A. BENJ. HELANDER: *Pihkanjuoksutuksesta, Lieituassa, Puolassa ja Saksassa tehtyjen havaintojen mukaan.* Erikoistutk. 11, 1919. 35 p.

[202] T. J. HINTIKKA: *Die Wisa-Krankheit der Birken in Finnland.* Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Gallenkunde 32, 1922, p. 193—210.

[203] OLLI HEIKINHEIMO: *Einige Beobachtungen über die Aufarbeitung und Verwahrung des Brennholzes.* A.F.F. 4, 1919. 6 p.

[204] AUGUST RENVALL: *Das radiale Schwindmass des lappländischen Kiefernstammholzes.* A.F.F. 26, 1923. 14 p.

[205] AUGUST RENVALL: *Beobachtungen über die Exzentrizität des lappländischen Kiefernstammes.* A.F.F. 26, 1923. 14 p.

[206] I. LASSILA: *Puiden teknillisten ominaisuuksien tähänastinen tutkimus tuloksiensa ja järjestelmiensä puolesta arvosteltuna.* A.F.F. 1926. (Ready for printing.) English summary.

[207] I. LASSILA: *Piirteitä sahan ja saharaamin alkukehityksestä.* A.F.F. 1926. (Is in press.) English summary.

[208] LENNART GRIPENBERG: *Kymin Lauttausyhdistys; muistojulkaisu 50-vuotisen yhteisuiton johdosta Päijänteen vesistössä vv. 1873—1922.* Helsinki 1924. 128 p. — 27 pl., 8 tables and other appendices and map.

LENNART GRIPENBERG: *Kymmene Flottningsförening; minnesskrift med anledning av 50-årig gemensam flottning i Päijänne vattenområde 1873—1922.* Helsingfors 1924. 144 p. + 27 pl., 8 tables and other appendices and map.

[209] K. LINDBERG: *Svensk och norsk flottningslagstiftning och flottningsförhållanden.* Specialund. 8, 1917. 44 p.

Personal Index.

Page

AALTONEN, V. T. 21, 30, 31, 32, 34, 38, 39, 40, 49
AARNIO, B. 31
ANDERSSON, G. 43
ASCHAN, A. O. 64
AUER, VÄINÖ 21, 42, 43, 44
BACKMAN, A. L. 42, 43
BERG, EDMUND VON 52
BERGMAN, G. K. 64
BJÖRKENHEIM, RAF. 29
BLOMQVIST, A. G. 9, 33
BLOMQVIST, T. J. 11
BOMAN, AARNE 55, 58
BONSDORFF, A. J. 38
BORENIUS, A. 10
BRENNER, WIDAR 30
BURGMAN, ADOLF 55
CAJANDER, A. K. 11, 12, 13, 15, 17, 18, 19, 22, 23, 27, 28, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 42, 48, 53, 54, 55, 60, 61
CAJANDER, E. 62
CAJANUS, WERNER 45, 46, 47, 48, 50, 52
CANNELIN, THOM. 10, 37
CASTRÉN, E. J. 63
CLEVE-EULER, ASTRID 43
EKMAN, KARL 57
ELFVING, FREDR. 36
ELFVING, K. O. 10, 11, 39
ENCKELL, JARL 64
ENROTH, G. HJ. 37
FLOMAN, JOHN 57
FORSELLES, J. H. AF 50
FROSTERUS, B. 31
GADD, P. A. 7
GRIPENBERG, LENNART 57, 64
HACKSTEDT, H. H. 50
HANHO, J. T. 56
HANNIKAINEN, P. W. 12, 15, 19, 54
HARVIA, YRJÖ 55
HEIKINHEIMO, OLLI 21, 31, 32, 34, 36, 37, 39, 41, 51, 52, 63

Heikkilä, T. ... 9, 49, 50, 59
Helander, A. Benj. ... 52, 55, 56, 59, 63
Hellström, Alfons ... 64
Herlin, Rafael ... 43
Hertz, Martti ... 32
Hildén, Ilmari ... 61
Hintikka, S. V. ... 64
Hintikka, T. J. ... 63
Hjelt, Hjalmar ... 11, 33
Homén, Theodor ... 11, 44
Hult, R. ... 11, 33
Hägglund, Erik ... 64
Ilvessalo, Lauri ... 31, 35, 36, 37, 39
Ilvessalo, Yrjö ... 17, 21, 29, 30, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54
Jutila, K. T. ... 62
Kairamo (Kihlman), A. Osw. ... 11, 24, 35, 55
Kallio, Topi ... 58
Kalm, P. ... 7
Karsten, P. A. ... 11
Klingstedt, F. W. ... 64
Kokkonen, P. ... 31, 34, 44
Komppa, G. ... 24, 64
Krohn, Leo ... 53
Kujala, Viljo ... 29, 33, 38, 42
Laitakari, Erkki ... 50, 60
Lakari, O. J. ... 17, 21, 29, 31, 32, 37, 38, 48, 49, 50
Langenskiöld, Gustaf ... 57
Langenskjöld, Fabian ... 50
Lappi-Seppälä, M. ... 47, 54
Lassila, I. ... 32, 37, 57, 64
Lindberg, H. ... 43
Lindberg, K. E. ... 64
Lindeberg, J. W. ... 47
Linko, Sulo ... 33
Linkola, K. ... 28, 30, 61
Liro (Lindroth), J. I. ... 10, 40
Lukkala, O. J. ... 30, 37, 43, 52, 61
Lönnroth, Erik ... 47, 50
Lönnroth, Onni ... 38
Montell, Robert ... 50
Multamäki, S. E. ... 34, 40, 43, 44, 52
Nordenskiöld, N. C. ... 50
Norrlin, J. P. ... 11, 27, 42
Nyholm, E. T. ... 10
Paavonen, T. W. ... 58, 59
Palmén, E. G. ... 56, 60
Palmgren, Alvar ... 18, 29, 40

PARVIAINEN, W 57
PEKKALA, MAUNO 55, 56, 62, 63
PESOLA, V. 30
RAINIO, Y. E. 10
RANCKEN, TORSTEN 24
RENVALL, AUGUST 31, 40, 41, 58, 63
RENVALL, HEIKKI 58
REUTER, EINAR 40
ROSCHIER, H. 64
ROUTALA, O. 64
SAALAS, UUNIO 39
SAARI, EINO 38, 40, 54, 59, 63
SANDBERG, H. R. 41
SAXÉN, RAGNAR 52
SIVÉN ALBERT 10
SNELLMAN, G. R. 57
STENBÄCK, L. 10
STRÖMBERG, KARL 53
TALVITIE, Y. 63
TANTTU, ANTTI 43, 44
THESLEFF, ARTUR 33, 39
TIGERSTEDT, A. F. 23, 36
TIGERSTEDT, C. G. 24
VALLE, K. J. 61
VALMARI, J. 30
WARÉN, H. 43
WUORI, E. 37

Appendix 1

Acta Forestalia Fennica
1–30 (1909–1926)

1.

A. K. CAJANDER (1909): Ueber Waldtypen.

AUGUST RENVALL (1912): Die periodischen Erscheinungen der Reproduktion der Kiefer an der polaren Waldgrenze.

2.

E. VUORI (1913): Studien über die durch Brandkultur entstandenen Nadelholzbestände des Staatsforstes Vesijako.

L. ILVESSALO (1913): Versuche mit ausländischen Holzarten im Staatsforst Vesijako.

A. K. CAJANDER (1913): Studien über die Moore Finnlands.

3.

WERNER CAJANUS (1914): Ueber die Entwicklung gleichaltriger Waldbestände: Eine statistische Studie I.

AUGUST RENVALL (1914): Ein Beitrag zur Kenntnis der sog. partiellen Variabilität der Kiefer.

4.

ANTTI TANTTU (1915): Ueber die Entstehung der Bülten und Stränge der Moore.

OLLI HEIKINHEIMO (1915): Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin. *Summary:* Der Einfluss der Brandwirtschaft auf die Wälder Finnlands.

—»— (—»—): Einige Beobachtungen über die Aufarbeitung und Verwahrung des Brennholzes.

K. O. ELFVING (1915): Cronartium peridermium Strobi Kleb. auf Pinus Cembra in Finnland gefunden.

5.

O. J. LAKARI (1915): Studien über die Samenjahre und Altersklassenverhältnisse der Kiefernwälder auf dem nordfinnischen Heideboden.

ANTTI TANTTU (1915): Tutkimuksia ojitettujen soiden metsittymisestä. *Summary:* Studien über die Aufforstungsfähigkeit der entwässerten Moore.

6.

YRJÖ ILVESSALO (1916): Mäntymetsikköjen valtapuitten kasvusta mustikka- ja kanervatyyppien kankailla Salmin kruununpuistossa. *Summary:* Untersuchungen über das Wachstum der vorherrschenden Bäume in Kiefernbeständen von Myrtillus- und Calluna-Typ.

L. ILVESSALO (1917): Tutkimuksia mäntymetsien uudistumisvuosista Etelä- ja Keski-Suomessa. *Summary:* Studien über die Verjüngungsjahre der Kiefernwälder in Süd- und Mittelfinnland.

RAF. BJÖRKENHEIM (1919): Beiträge zur Kenntnis einiger Waldtypen in den Fichtenwaldungen des deutschen Mittelgebirges.

7.

A. K. CAJANDER (1917): Suomen Metsätieteellisen Seuran toiminta v. 1909—1917 (= The Activity of the Society of Forestry in Finland during the Years 1909—1917).

8.

A. J. BONSDORFF (1917): Studien über die Sturmrichtungen in Finnland.

—»— (1918): Beiträge zur Kenntnis der Sturmschäden in Finnland.

OLLI HEIKINHEIMO (1917): Metsänhävityksen ja polton vaikutuksesta metsämaahan.

9.

O. J. LUKKALA (1919): Tutkimuksia viljavan maa-alan jakautumisesta etenkin Savossa ja Karjalassa. *Summary:* Untersuchungen über die Verteilung des fruchtbaren Bodenareals hauptsächlich in den Landschaften Savo (Sawolaks) und Karjala (Karelien).

S. E. MULTAMÄKI (1919): Tutkimuksia metsien tilasta Savossa ja Karjalassa. *Summary:* Untersuchungen über den Zustand der Wälder in Savo und Karjala.

10.

UUNIO SAALAS (1919): Kaarnakuoriaisista ja niiden aiheuttamista vahingoista Suomen metsissä. *Summary:* Über die Borkenkäfer und den durch sie verursachten Schaden in den Wäldern Finnlands.

11.

AUGUST RENVALL (1919): Suojametsäkysymyksestä I—VI. *Summary:* See 11, Supplementum.

11, Supplementum.

OLLI HEIKINHEIMO (1921): Über die Schutzwaldfrage, Referat aus »Suojametsäkysymyksestä I—VI» von August Renvall.

12.

A. L. BACKMAN (1919): Torvmarksundersökningar i mellersta Österbotten. *Summary:* Moor-Untersuchungen im mittleren Österbotten.

VÄINÖ AUER (1920): Über die Entstehung der Stränge auf den Torfmooren.

EINO SAARI (1919): Itä-Suomen lahjoitusmailla noudatetusta metsäpolitiikasta.

O. J. LAKARI (1919): Ehdotus kasvutaulujen laatimiseksi Pohjois-Suomen metsiä varten.

13.

AUGUST RENVALL (1919): Program för utredningen af industrins jordförvärf.

AARNE BOMAN (1920): Yksityisten ja yhtiöiden maanomistus — Enskildas och bolags jordbesittning. *Summary:* Das ländliche Grundeigentum im Besitz von Privaten und von Aktiengesellschaften.

14.

V. T. AALTONEN (1920): Über die Ausbreitung und den Reichtum der Baumwurzeln in den Heidewäldern Lapplands.
—»— (—»—): Wasserverbrauch der Bäume und Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens.
I. LASSILA (1920): Tutkimuksia mäntymetsien synnystä ja kehityksestä pohjoisen napapiirin pohjoispuolella. *Summary:* Untersuchungen über die Entstehung und Entwicklung der Kiefernwälder nördlich vom nördlichen Polarkreise.
O. J. LAKARI (1920): Tutkimuksia Pohjois-Suomen metsätyypeistä. *Summary:* Untersuchungen über die Waldtypen in Nordfinnland.
—»— (—»—): Suomen Metsätieteellisen Seuran toiminta v. 1917—1920. *Summary:* Die Tätigkeit der Forstwissenschaftlichen Gesellschaft in Finnland während der Jahre 1917—1920.

15.

OLLI HEIKINHEIMO (1920): Pohjois-Suomen kuusimetsien esiintyminen, laajuus ja puuvarastot. *Summary:* Vorkommen, Umfang und Holzvorräte der Fichtenwälder in Nord-Finnland.
YRJÖ ILVESSALO (1920): Metsämaitten puuntuotantokyvyn, nykyisen tuoton ja puunkulutuksen välisestä suhteesta. *Summary:* Über das Verhältnis zwischen der Holzkonsumtion und der Holzertragsfähigkeit der Waldböden in Finnland.
—»— (—»—): Tutkimuksia metsätyyppien taksatoorisesta merkityksestä. *Summary:* Untersuchungen über die taxatorische Bedeutung der Waldtypen.
—»— (—»—): Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. *Summary:* Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland.

16.

O. J. LUKKALA (1920): Tutkimuksia soiden kantokerroksista. *Summary:* Untersuchungen über die Stubbenschichten der Moore.
—»— (—»—): Lehdeksien tekotapa Lounais-Suomessa ja sen metsänhoidollinen merkitys. *Summary:* Das Abwipfeln im südwestlichen Finnland und seine forstliche Bedeutung.
—»— (—»—): Studien über das Verhältnis zwischen dem Moortypus und dem Oberflächentorf der Moore.
S. E. MULTAMÄKI (1920): Suomen soista ja niiden metsittämisestä. *Summary:* Über die Moore Finnlands und ihre Aufforstung.
O. J. LUKKALA (1920): Lisä ortsteinikysymyksen valaisemiseksi. *Summary:* Ein Beitrag zur Beleuchtung der Ortsteinfrage.
O. J. LAKARI (1920): Tutkimuksia männyn muodosta. *Summary:* Untersuchungen über die Form der Kiefer.

17.

ERKKI LAITAKARI (1920): Tutkimuksia sääsuhteiden vaikutuksesta männyn pituus- ja paksuuskasvuun. *Summary:* Untersuchungen über die Einwirkung der Witterungsverhältnisse auf den Längen- und Dickenwachstum der Kiefer.

LAURI ILVESSALO (1920): Ulkomaalaisten puulajien viljelemismahdollisuudet Suomen oloja silmälläpitäen. *Summary:* Über die Anbaumöglichkeit ausländischer Holzarten mit spezieller Hinsicht auf die finnischen Verhältnisse.

MAUNO PEKKALA (1920): Tutkimuksia kruunumetsätorppien taloudesta Kurun, Parkanon ja Ikaalisten pitäjissä. *Summary:* Untersuchungen über die Wirtschaftsverhältnisse der Kötnerhöfe in den Staatsforsten.

18.

DIRECTION GÉNÉRALE FORESTIÈRE (1921): L'économie forestière de la Finlande.

A. K. CAJANDER (1921): Valtion metsätalous liikeyrityksenä. *Summary:* Die Staatswaldwirtschaft Finnlands als Geschäftsunternehmen.

K. T. JUTILA (1921): Tutkimuksia Perä-Pohjolan ja Lapin talous- ja asutusoloista: Varsinaisen itsehoidetun maatalouden pääomasuhteista. *Summary:* Untersuchungen über die Wirtschafts- und Siedelungsverhältnisse in Perä-Pohjola und Lappi (Lappland): Ueber die Kapitalverhältnisse der eigentlichen selbstgeführten Landwirtschaft.

VÄINÖ AUER (1921): Zur Kenntnis der Stratigraphie der mittel-österbottnischen Moore.

VILJO KUJALA (1921): Havaintoja Kuusamon ja sen eteläpuolisten kuusimetsäalueiden metsä- ja suotyypeistä. *Summary:* Beobachtungen über die Wald- und Moortypen von Kuusamo und der südlich von dort gelegenen Fichtenwaldgebiete.

19.

OLLI HEIKINHEIMO and EINO SAARI (1922): Forestry in Finland. (In Finnish and English.)

AUGUST RENVALL ja AARNE BOMAN: Tutkimuksia yhtiöiden maanomistuksesta Multian, Heinäveden, Sulkavan, Ruokolahden ja Luumäen kunnissa: I. Johdannollinen osa. *Summary:* Untersuchungen über den Grundbesitz der Aktiengesellschaften in den Kommunen Multia, Heinävesi, Sulkava, Ruokolahti und Luumäki: I. Einleitender Teil.

20.

A. K. CAJANDER und YRJÖ ILVESSALO (1921): Ueber Waldtypen II.

A. K. CAJANDER (1922): Zur Begriffsbestimmung im Gebiet der Pflanzentopographie.

YRJÖ ILVESSALO (1922): Vegetationsstatistische Untersuchungen über die Waldtypen.

J. VALMARI (1921): Beiträge zur chemischen Bodenanalyse.

21.

A. K. CAJANDER (1921): Zur Frage der gegenseitigen Beziehungen zwischen Klima, Boden und Vegetation.

—»— (—»—): Zur Kenntnis der Einwanderungswege der Pflanzenarten nach Finnland.

—»— (—»—): Einige Reflexionen über die Entstehung der Arten.

S. E. MULTAMÄKI (1921): Tilastoa Pohjois-Suomen metsä- ja suotyypeistä. *Summary:* Beiträge zur Statistik der Wald- und Moortypen Nordfinnlands.

Mauno Pekkala (1921): Verollepano- ja jakotoimituksista Kuusamon, Kemijärven ja Kuolajärven knihtikontrahtipitäjissä. *Summary:* Über die Besteuerungs- und Landeinteilungsmassnahmen in den Kirchspielen Kuusamo, Kemijärvi und Kuolajärvi.

22.

Alvar Palmgren (1922): Über Artenzahl und Areal sowie über die Konstitution der Vegetation.
—»— (—»—): Zur Kenntnis des Florencharakters des Nadelwaldes.
K. Linkola (1922): Zur Kenntnis der Verteilung der landwirtschaftlichen Siedlungen auf die Böden verschiedener Waldtypen in Finnland.
A. L. Backman und Astrid Cleve-Euler (1922): Die fossile Diatomeenflora in Österbotten.

23.

(A memorial publication dedicated to late professor J. P. Norrlin. Edited 1923 by A. K. Cajander.)
A. K. Cajander: Gedächtnisrede für Johan Petter Norrlin, gehalten in der Versammlung der Finnischen Wissenschaftssozietät am 10. Mai 1918.
Verzeichnis der Schriften Norrlins.
Lectio praecursoria, gehalten von J. P. Norrlin bei seiner Disputation am 13. Mai 1871.
J. P. Norrlin (1870): Beiträge zur Flora des südöstlichen Tavastlands.
—»— (1871): Flora Kareliae onegensis: I. Über die Vegetation von Onega-Karelien und die naturgeschichtliche Grenze Finnlands sowie Skandinaviens im Osten.
—»— (1873): Bericht über eine naturgeschichtliche Reise in Torneå-Lappmark.
—»— (—»—): Übersicht der Moose und Flechten von Torneå-(Muonio-) und den angrenzenden Teilen von Kemi-Lappmark.
—»— (—»—): Über die Prinzipien bei der Anordnung botanischer Exkursionen in Finnland.
—»— (1884): Adnotationes de Pilosellis Fennicis I.
—»— (1906): Die Habichtskräuter Finnlands.
A. K. Cajander (1923): Einige Hauptzüge der pflanzentopographischen Forschungsarbeit in Finnland. Vortrag gehalten in der Jahresversammlung der Finnischen Akademie der Wissenschaften am 10. April 1922.

24.

A. K. Cajander (1923): Der Anbau ausländischer Holzarten als forstliches und pflanzengeographisches Problem.
A. F. Tigerstedt (1922): Arboretum Mustila: I. Havupuut. *Summary:* Arboretum Mustila: I. Conifers.

25.

A. K. Cajander (1923): Forstlich-geographische Übersicht Finnlands.
—»— (—»—): Über das Verhältnis zwischen Waldzuwachs und Holzverbrauch in Finnland.
—»— (—»—): Über die Verteilung des fruchtbaren Bodens in Finnland und über den Einfluss dieser Verteilung auf die wirtschaftlichen Verhältnisse im Lande.
—»— (—»—): Was wird mit den Waldtypen bezweckt?

J. W. LINDEBERG (1924): Über die Berechnung des Mittelfehlers des Resultates einer Linientaxierung.

V. T. AALTONEN (1923): Über die räumliche Ordnung der Pflanzen auf dem Felde und im Walde.

—»— (—»—): Zur Kenntnis der Ausfällung des Eisens im Boden.

—»— (—»—): Versuche zur Klärung der Schutzwirkungen von wässerigen Humusauszügen.

—»— (1924): Über neuere forstliche Betriebsarten in Deutschland.

YRJÖ ILVESSALO (1923): Ein Beitrag zur Frage der Korrelation zwischen den Eigenschaften des Bodens und dem Zuwachs des Waldbestandes.

P. KOKKONEN (1923): Beobachtungen über das Wurzelsystem der Kiefer in Moorböden.

K. J. VALLE (1923): Fischwasseruntersuchungen im Staatsrevier Evo.

26.

A. BENJ. HELANDER (1923): Metsätalouden tarjoamasta ansiotyöstä: I. Kruununmetsät vv. 1911—1913. *Summary:* Der Arbeitsbedarf in der Forstwirtschaft.

WERNER CAJANUS—YRJÖ ILVESSALO (1923): Tutkimuksia yksityismetsien tilasta Hämeen läänin keskiosissa: Sahalahden ja Kuhmalahden pitäjien metsät. *Summary:* Untersuchungen über den Zustand der Privatwälder in den mittleren Teilen des Regierungsbezirkes Häme (Tavastland): Die Wälder der Kirchspiele Sahalahti und Kuhmalahti.

AUGUST RENVALL (1923): Das radiale Schwindmass des lappländischen Kiefernstammholzes.

—»— (—»—): Beobachtungen über die Exzentrizität des lappländischen Kiefernstammes.

EINO SAARI (1923): Kuloista, etupäässä Suomen valtionmetsiä silmällä pitäen. *Summary:* Forest Fires in Finland, with Special Reference to State Forests.

27.

S. E. MULTAMÄKI (1923): Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden metsänkasvusta. *Summary:* Untersuchungen über das Waldwachstum entwässerter Torfböden.

EINO SAARI (1923): Sahapuun kantohinta ja menekki Suomen valtionmetsissä vv. 1913—1922. *Summary:* Preis und Absatz des Sägeholzes in den Staatswäldern Finnlands in den Jahren 1913—1922.

P. KOKKONEN (1923): Tutkimuksia viemärien kuntoon vaikuttavista seikoista. *Summary:* Studies on the Circumstances Affecting the Condition of Drainage Canals.

28.

K. T. JUTILA (1923): Tutkimuksia Perä-Pohjolan ja Lapin talous- ja asutusoloista: I. Luonnontieteellis-taloudellinen yleiskatsaus. III. Maanviljelyksestä. IV. Karjanhoidosta. *Summary:* Researches into the Economic and Colonization Conditions of Perä-Pohjola and Lappi (Lapland): I. Natural Scientific and Economic Survey. (II. See A.F.F. 18.). III. Re Plant Culture. VI. Re Animal Culture.

29.

V. T. AALTONEN (1925): Allgemeines über die Einwirkung der Bäume auf einander.
A. K. CAJANDER (1925): Metsätyyppiteoria.
A. K. CAJANDER (1926): The Theory of Forest Types.
T. HEIKKILÄ (1925): Kasvututkimuksia Perä-Pohjolasta. *Summary:* Zuwachsuntersuchungen aus Nordnord-Finnland.
MARTTI HERTZ (1925): Niinipuun uudistumisesta Suomessa. *Summary:* Uber die Verjüngung der Linde in Finnland.

30.

ERIK LÖNNROTH (1925): Untersuchungen über die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger Kiefernbestände basiert auf Material aus der Südhälfte Finnlands.
—»— (1926): Der stereometrische Bestandsmittelstamm.
P. KOKKONEN (1926): Beobachtungen über die Struktur des Bodenfrostes.
ERIK LÖNNROTH (1926): Ein Dendrometer.

Appendix 2

Communicationes ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae Editae

(Publications of the Forest Research Institute of Finland)

1–10 (1919–1926)

1.

V. T. AALTONEN (1919): Kangasmetsien luonnollisesta uudistumisesta Suomen Lapissa. *Summary:* Über die natürliche Verjüngung der Heidewälder im Finnischen Lappland.

2.

O. J. LAKARI (1920): Tutkimuksia kuusen ja männyn kasvusuhteista Pohjois-Suomen paksusammaltyypillä. *Summary:* Untersuchungen über die Zuwachsverhältnisse der Fichte und Kiefer auf dem Dickmoostypus in Nordfinnland.

OLLI HEIKINHEIMO (1920): Kuusimuodoista ja niiden metsätaloudellisesta arvosta. *Summary:* Über die Fichtenformen und ihren forstwirtschaftlichen Wert.

—»— (—»—): Kuusen iän määräämisestä ja kuusen myöhäisjuuristä. *Summary:* Über die Bestimmung des Alters der Fichte und ihre Adventivwurzeln.

O. J. LAKARI (1920): Tutkimuksia kuusen karsimisesta. *Summary:* Untersuchungen über die Astung der Fichte.

3.

O. J. LAKARI (1920): Tutkimuksia männyn muodosta. *Summary:* Untersuchungen über die Form der Kiefer.

OLLI HEIKINHEIMO (1920): Pohjois-Suomen kuusimetsien esiintyminen, laajuus ja puuvarastot. *Summary:* Vorkommen, Umfang und Holzvorräte der Fichtenwälder in Nordfinnland.

—»— (—»—): Suomen lumituhoalueet ja niiden metsät. *Summary:* Die Schneeschadengebiete in Finnland und ihre Wälder.

VÄINÖ AUER (1921) Piirteitä Keski-Pohjanmaan soistumistavoista. *Summary:* Über Versumpfungsprozesse in Mittel-Österbotten.

4.

Metsätieteellisen Koelaitoksen perustaminen ja sen toiminta vuosina 1918—1920. *Summary:* Die Gründung der Forstwissenschaftlichen Versuchsanstalt Finnlands und ihre Wirksamkeit in den Jahren 1918—1920.

O. J. LAKARI (1921): Tutkimuksia kuusimetsien uudistumisvuosista Etelä- ja Keski-Suomessa. *Summary:* Untersuchungen über die Verjüngungsjahre der Fichtenwälder in Süd- und Mittelfinnland.

Olli Heikinheimo (1921): Suomen metsärajametsät ja niiden vastainen käyttö. *Summary:* Die Waldgrenzwälder und ihre künftige Nutzung.

Väinö Auer (1921): Tutkimuksia Lapin tulvamailta. *Summary:* Untersuchungen in den Überschwemmungsgebieten Lapplands.

Viljo Kujala (1921): Havaintoja Kuusamon ja sen eteläpuolisten kuusimetsäalueiden metsä- ja suotyypeistä. *Summary:* Beobachtungen über die Wald- und Moortypen von Kuusamo und der südlich von dort gelegenen Fichtenwaldgebiete.

5.

Eino Saari (1922): Kotitarvepuun kulutus maaseudulla Turun ja Porin läänissä. *Summary:* Über den Verbrauch des Holzes im Hausbedarf auf dem Lande in dem Län Turku-Pori (Abo-Björneborg).

Olli Heikinheimo (1922): Pohjois-Suomen kuusimetsien hoito. *Summary:* Über die Bewirtschaftung der Fichtenwälder Nordfinnlands.

Lauri Ilvessalo (1923): Raivolan lehtikuusimetsä. *Summary:* Der Lärchenwald bei Raivola.

6.

Väinö Auer (1922): Suotutkimuksia Kuusamon ja Kuolajärven vaara-alueilta. *Summary:* Moorforschungen in den Vaaragebieten von Kuusamo und Kuolajärvi.

7.

Viljo Kujala (1924): Tervaleppä (Alnus glutinosa (L.) Gaertn.) Suomessa. Kasvimaantieteellinen tutkimus. *Summary:* Die Schwarzerle (Alnus glutinosa (L.) Gaertn.) in Finnland. Pflanzengeographische Untersuchung.

—»— (—»—): Laskelmia lehtipuiden lehtikauden pituudesta ja puiden kukkimisajoista Suomessa. *Summary:* Berechnungen über die Länge der Laubperiode der Laubbäume und Blühzeiten der Bäume in Finnland.

M. Lappi-Seppälä (1924): Linja-arvioimisesta ja sen tarkkuudesta. *Summary:* Über die Linientaxierung und deren Genauigkeit.

8.

Viljo Kujala (1924): Keski-Pohjanmaan soiden synnystä. *Summary:* Ein Beitrag zur Kenntnis der Entstehung der Moore in Mittelösterbotten.

Väinö Auer (1924): Eräitä vastaisia tehtäviä suotutkimuksen alalla Suomessa. *Summary:* Über einige künftige Aufgaben der Moorforschung in Finnland.

—»— (—»—): Die postglaziale Geschichte des Vanajavesisees.

9.

Yrjö Ilvessalo (1924): The Forests of Finland: the Forest Resources and the Conditions of the Forests. (In Finnish, Swedish and English.)

Olli Heikinheimo (1924): Suomen metsien metsänhoidollinen tila.

V. T. Aaltonen (1925): Metsikön itseharventumisesta ja puiden kasvutilasta luonnonmetsissä. *Summary:* Über die Selbstabscheidung und den Wuchsraum der Bäume in Naturbeständen.

—»— (—»—): Über den Aziditätsgrad (p_H) des Waldbodens.

M. LAPPI-SEPPÄLÄ (1925): Metsänkasvun ja hakkuun välisestä suhteesta sekä puunkulutuksesta ja metsämaitten tuottokyvystä Turun-Porin läänissä. *Summary:* On the Balance of Forest Growth and Felling as well as on the Wood Consumption and the Yield Capacity of Forest Lands in the Province of Turku-Pori.

VÄINÖ AUER (1925): Investigations of the Ancient Flora of Häme (Tavastland).

10.

VILJO KUJALA: Untersuchungen über die Waldvegetation in Süd- und Mittelfinnland: I (1926). Zur Kenntnis des ökologisch-biologischen Charakters der Pflanzenarten unter spezieller Berücksichtigung der Bildung von Pflanzenvereinen. A. Gefässpflanzen. B. Laubmoose. C. Flechten. II (1925). Über die Begrenzung der Siedlungen.

—»— (1926): Untersuchungen über den Einfluss von Waldbränden auf die Waldvegetation in Nord-Finnland.

V. T. AALTONEN (1926): Über die Umsetzungen der Stickstoffverbindungen im Waldboden.

PIIRTEITÄ SAHAN JA SAHARAAMIN ALKUKEHITYKSESTÄ.

KIRJOITTANUT

I. LASSILA.

FEATURES IN THE EARLY DEVELOPMENT OF SAWS AND SAW FRAMES.

HELSINKI 1926.

HELSINKI 1926
SUOMAL. KIRJALL. SEURAN KIRJAPAINON O.Y.

Alkulause.

Nyt julkaistun teoksen tarkoituksena on kiinnittää huomiota sahauskoneiden ja puunjalostuskoneiden historiaan yleensä. Tämä puoli sahaustekniikkaa unohdetaan sangen usein. Edullisena poikkeuksena tässä suhteessa on mainittava STAFFORD RANSOME'n teos, Modern Wood-Working Machinery, joka on ilmestynyt Lontoossa 1924.

Yleensä voidaan kuitenkin sanoa, että sahatekniikan ja puun mekaanisen jalostuksen alalla on olemassa sangen vähän yksityiskohtiin syventyvää kirjallisuutta ja että tämä kirjallisuus on sitä harvinaisempaa, mitä lähemmäksi nykyaikaa tullaan. Koneiden käyttöhän opitaan käytännössä ja senvuoksi on useimmista nykyaikaisista koneita käsittelevistä teoksista jätetty pois yksityiskohtaiset selitykset ja piirustukset. Voidaan ehkä väittää, että esim. juuri sahaus- ja puunjalostuskoneiden alalla on tässä suhteessa menty liian pitkälle, sillä esim. sellaisten koneiden yksityiskohdista, jotka aikaa myöten jäävät pois käytännöstä, on asiain näin ollen myöhemmin sangen vaikea saada selvää.

Konetyyppien ja -muotojen suuri lukumäärä on kai osaltaan myös syynä siihen, ettei niistä tätä nykyä enään voida tehdä yhtä yksityiskohtaisesti selvää kuin ennen, jolloin esim. sahausalalla on löytynyt tässä suhteessa sangen yksityiskohtiin meneviä teoksia. Näistä löydetään tärkeimmät tämän teoksen loppuun liitetystä kirjallisuusluettelosta, mutta olkoon tässä yhteydessä erikoisesti mainittu, että esim. sen vertaisia selvyydessä kuin EXNER'in hyväkseen käyttämät WALLAN piirustukset sekä RICHARDS'in ja HOFFMANN'in piirustukset, aniharvoin tapaa. Näistä teoksista onkin kuvitus tähän julkaisuun otettu, ollen useimmat seuraavassa julkaistut piirustukset pienennetyt WALLAN tekemistä tai niiden perusteella laaditut, sillä itse koneisiin ei tekijällä luonnollisesti ole voinut olla tilaisuutta tutustua.

EXNER'in kirjallisuusluettelossa mainittu teos, jonka koneselitykset ovat verrattomat, on ollut tärkein lähdekirjani. Esitykseni poikkeaa siitä kuitenkin sellaisissa kohdin, missä alkuperäiset teokset ovat antaneet siihen aihetta. Sen antamat historialliset tiedot ovat myös olleet pääasiassa oikeat, joten olen niitä suurimmaksi osaksi sellaisenaan voinut käyttää. Myöskin tässä suhteessa esiintyy esityksessäni poikkeuksia, jotka ovat aiheutuneet alkuperäisten lähteiden käyttämisestä.

Suureksi hyödyksi tämän julkaisun syntymiselle on ollut oleskeluni Lontoossa kevättalvella 1919 ja kesällä 1925 Ranskaan, Tanskaan ja Ruotsiin valtion apurahalla tekemäni opintomatka.

Korkeakoskella kesäkuulla 1926.

Tekijä.

Sisällys.

S.

I Kehitys 1800-luvun alkuun 7

II Raamisahan ja sen osien kehitys 1800-luvulla 20

A. Raami ja sen liukulaitteet 21

B. Sahanterän kiinnittämiseksi raamiin käytetyt laitteet 34

C. Raamin liikkeellepanolaitteet 39

D. Sahattavan puun kiinnittämistä varten tarpeelliset laitteet 41

E. Syöttölaitteet 44

III Sahan ja saharaamin kehitykseen vaikuttavista seikoista sekä loppumietteitä 50

Luettelo käytetystä kirjallisuudesta 56

Features in the Early Development of Saws and Saw Frames 58

I. Kehitys 1800-luvun alkuun.

Sahalla ymmärretään hammaslaiteista, eri tavoilla jännitettyä metallilevyä, jota käytetään puun, metallin, kiven ja luun y.m. samantapaisten raaka-aineiden paloittelemiseen ja muotoilemiseen.

Sahan alkukehityksestä voidaan sanoa samaa kuin kaikista muistakin työkaluista. Esihistoriallisten aikojen työkaluja olivat puunuija tai -kanki, joku teräväsärmäinen kivi j.n.e. tai käytettiin jotain sopivaa eläimen luuta, kalanruotoa j.n.e. Näistä kehittyivät vähitellen ne työkalumuodot, jotka meillä nykyään on. Jos esim. silmäilemme kivikirveitä, niin on niiden muodoista paljon opittavaa. On esim. mielenkiintoista huomata, kuinka kivikirveiden muodot usein muistuttavat erinäisiä ameriikkalaisia kirvesmuotoja. Tämä antaa meille m.m. hieman käsitystä siitä, kuinka samat työliikkeet, sama päämäärä työn suorituksessa, sama asento työtä tehtäessä, j.n.e., kehittävät samoja työkalumuotoja. Ne raaka-aineet, joita esihistoriallisten aikojen alku-ihmisellä oli käytettävänään, olivat kaikkialla suurin piirtein samat. Puun oksat, latteat kivet j.n.e. esiintyivät luonnossa milloin enemmän milloin vähemmän samanmuotoisina kappaleina ja sen vuoksi jo se pieni alkumuokkaus, joka esim. kivenpalasesta teki kivikirveen, johti kaikkialla, missä samaa ja samoin halkeilevaa kivilajia oli käytettävissä, samantapaiseen työkaluun. Kun kirveeseen oli kiinnitettävä varsi, sai se myös aivan luonnollisista syistä määrätyn normaalipituutensa j.n.e. Ja lopuksi tuli ruumiinvoimien suuruudesta, puulajista, kuljetusvaikeuksista j.n.e. riippumaan valmistetun työkalun koko.

Ei siis esim. ole helppo määritellä, missä joka työkalulaji, saha, kirves j.n.e., on alkuaan keksitty, mutta sitävastoin voidaan hyvin helposti sen erikoislajien perusteella, usein mitä tarkimmin määritellä, millaisiin tarkoituksiin sitä on käytetty ja millä paikkakunnilla.

Nykyisten työkalujen kehitys tällaisista alkumuodoista on tapahtunut vähitellen. Suurimpia muutoksia on tavallisesti saanut aikaan se, että on opittu valmistamaan jotakin entistä tarkoituksenmukaisempaa raaka-ainetta. Selvä on, että, kun kivisistä, luisista j.n.e. työkaluista siir-

ryttiin, esim. osaksi tai kokonaan pronssista valmistettuihin, niin muuttuivat muodot ja koko jossain määrin. Aineesta, jolla oli painoonsa nähden suuremmat lujuusominaisuudet kuin ennen käytetyillä raaka-aineilla, voitiin valmistaa sirompia ja käytännöllisempiä työkaluja. Sitäpaitsi tiesi uusi raaka-aine uusia työkaluja, joita ei entisistä voitu valmistaa. Jo pronssiaikana osattiin valmistaa sangen suuri osa nykyisistä työkaluista, mutta vasta raudan ja teräksen keksiminen merkitsi sitä, että osattiin valmistaa terätyökaluja, joiden laatua voitiin verrata nykyiseen.

Useimmiten on työkalun synty ollut siksi luonnollinen, ettei ole edes säilynyt mitään kertomuksia siitä, kuka on kunkin työkalulajin keksinyt ja joka tapauksessa ovat useimpien nykyaikaisten työkalujen alkumuodot siksi vanhoja, että niiden keksijät ovat taruhenkilöitä. Mytologiasta on senvuoksi etsittävä kertomukset työkalujen synnystä ja silloin ei luonnollisesti yksilöllä ole mitään merkitystä, mutta sitävastoin voivat mytologiset tiedot antaa sangen mielenkiintoisen kuvan siitä, mistä luonnonesineestä kukin työkalu on kehittynyt.

Toinen ja ehkä todennäköisempi tie alkumuotojen selvillesaamiseksi tällä alalla on kehittymättömien kansojen työkaluston tutkiminen. Tällainen tutkimus antaa sangen varmoja tuloksia ja selvittää sitäpaitsi monta sellaista kohtaa, jotka mytologisia kertomuksia tutkittaessa jäisivät hämäriksi.

Työkalututkimuksissa ovat usein myös apuna vanhat kuvanveistokset, maalaukset j.n.e. Moni muinaisten egyptiläisten, kreikkalaisten, roomalaisten j.n.e. käyttämä työkalu on selitetty täten saatujen kuvausten perusteella.

* * *

Sahan kehitys ei luonnollisestikaan mitenkään poikkea siitä yleisestä suunnasta, mikä yllä on muihin työkaluihin nähden esitetty. On kuitenkin mainittava, että saha yleensä on työkalu, joka jo oikeastaan, edellyttää teräaseen, kirveen tai veitsen, tuntemisen. Jos ajattellaan tarkemmin sahanhampaita, niin ei niitä itse asiassa voida sanoa muiksi kuin pieniksi veitsiksi, joilla puusyyt katkotaan tai halkaistaan. Onkin senvuoksi otaksuttu (BECKMANN), että tylsä tai jollain tavalla lohjennut kivikirves- tai -taltta on ollut ensimmäinen saha. Sen käyttäjä on huomannut, että hän täten vikaantuneella vehkeellä voi saavuttaa toivomansa tuloksen. On myös (BARLOW) otaksuttu, että saha olisi syntynyt vanhojen tulensytyttämistapojen yhteydessä; s.o. kahta puupalasta hangatessa toisiaan vas-

taan on voitu tulla huomaamaan se vaikutus, mikä voidaan saavuttaa hankamaalla kahta hammastettua pintaa toista pintaa vastaan.

Ne arvelut, jotka edellä on lausuttu, voivat olla oikeita. Sattumahan on, kuten monet historiallisesti täysin varmat tiedot osottavat, aiheuttanut monta tärkeätä keksintöä. Samalla tavalla kuin särkynyt lasipullo aiheutti lampunlasin keksimisen tai ARKIMEDEEN kylpy hänen lakiensa keksimisen, on luonnollisesti sahakin joillakin seuduilla voinut syntyä myös sentapaisten sattumien kautta kuin yllä on mainittu, mutta, että monenlaisia muitakin mahdollisuuksia on olemassa, siitä ovat m.m. parhaana todistuksena ne kertomukset, joita muinaistarustoissa sahan keksimisestä löytyy.

Vanhin kertomus sahan keksimisestä löydetään 500-tienoilla j. Kr. eläneen sisilialaisen filosofin APPOLLODOROON teoksesta, *Bibliotheke*. Senmukaan kuin BECKMANN, KRÜNITZ ja BARLOW kertovat, olisi sahan keksinyt kreikkalainen mytologian taruhenkilö TALUS, ja liittyy sen keksimiseen useita sangen huvittavia yksityiskohtia. TALUKSEN kerrotaan nim. olleen taruissa usein mainitun kreikkalaisen »rakennusmestarin» ja kuvanveistäjän DAIDALOON sisarenpoika, joka työskenteli yhdessä setänsä kanssa. Hän oli sattumalta käyttänyt käärmeen leukaluuta puunkappaleita katkoakseen, ja saanut tästä aatteen sahan valmistamiseen, jonka hän sittemmin valmistikin raudasta. Ensimmäistä sahaa valmistettaessa oli siis jo rautaakin olemassa.

Emme malta olla mainitsematta jatkoa kertomukseen, koska sekin tavallaan kuuluu sahan historiaan, nim. että TALUS tällä keksinnöllään herätti oppimestarinsa kateuden, vieläpä siinä määrin, että tämä katsoi parhaaksi surmata hänet. Ruumiin kätköhommissa hän kuitenkin tuli yllätetyksi ja kysyttäessä, missä hommissa hän oli, vastasi hän kuoppaavansa suuren käärmeen ruumista. Käärmeestä tuli näin ollen, paitsi sitä, että se muka oli ollut alkusyy sahan keksimiseen, myös alkusyy sahan keksijän murhan ilmituloon. Rikos aiheutti DAIDALOON paon Kreetaan, jossa hän rakensi kuuluisan labyrintin. Mutta täälläkin oli onni hänelle vastainen, sillä hänestä tuli ensimmäinen, joka sinne teljettiin.

Kuten näkyy, on sahaa pidetty siksi tärkeänä esineenä, että kansan mielikuvitus on sen yhteyteen punonut näinkin huvittavan tarun. Kuten kaikki kansantarut esiintyy tämäkin monissa toisinnoissa ja sen ovat esittäneet esim. HYGINUS, LACTANTIUS, PLACIDUS ja kenties muutkin vanhan ajan historioitsijat. Niinpä esim. keksijän nimi vaihtelee, ollen milloin PERDIX, milloin ZERZES, milloin ATTALUS y.m. Hänen suku-

laisuusuhteensa DAIDALOON kuvataan myös sangen erilaisiksi, mutta joka tapauksessa on tarinan perussävy sama.

OVIDIUS'en Metamorphoseon, Liber VIII, CCXLIV kertoo:

> ille etiam medio spinas in pisce notatos
> traxit in exemplum, ferroque incidit acuto
> perpetuos dentes et serrae repperit usum

eli vapaasti käännettynä, tämä se myöskin huomasi käyttää hyväkseen kalalla näkemäänsä hampaista selkärankaa, teki samanlaisia hampaita kovaan teräkseen ja keksi täten hyödyllisen sahan. VIII:ssa kirjassa kuvataan m. m. DAIDALOON ja ICAROON kuuluisaa lentoretkeä ja nämät sanat sahan keksimisestä mainitaan heti sen jälkeen DAIDALOON ylistyksenä.

PLINIUS ja SENECA esittävät BECKMANN'in mukaan samantapaisia tietoja sahan keksimisestä mainiten kuitenkin itsensä DAIDALOON sen keksijäksi, mutta selittää BECKMANN, että PLINIUS on erehtynyt nimessä ja, että SENECA on ilman muuta jäljentänyt hänen tietonsa.

Ylläolevasta selviää ensitilassa se, että sahaa ennen muinoin ehdottomasti on pidetty tärkeänä keksintönä, sillä muutenhan se ei tässä määrin olisi askarruttanut muinaisten kansojen, tutkijoiden ja runoilijoiden mielikuvitusta. Ja käänteentekevä keksintö se aikoinaan on ollutkin, sillä se teki mahdolliseksi monen aineen sellaisen leikkaamisen, joka ennen oli vaatinut paljon työtä. Sitäpaitsi saatiin sillä aikaan sangen tasaisia pintoja, joiden muovaileminen ilman sahaa vaati paljon enemmän työtä. Ajateltakoon vain esim. marmoria, jota tarunomaiset DAIDALOS ja TALUS muovailivat. Toinen todennäköisyys tässä tarussa myöskin on, nim. se, että ensimmäisenä sahana on ollut käärmeen, kalan ja miks'ei myös jonkun muun eläimen hampainen luu.

Tämä onkin ehkä mielenkiintoisin johtopäätös edelläesitetystä muinaistarusta, sillä monet tosiasiat puhuvat tämän johtopäätöksen todennäköisyyden puolesta. Niinpä on CADOMOSTO (1432—1511), joka on julkaissut kuuluisan matkakertomuksensa, ORBUS NOVIS, matkoiltaan Afrikan länsirannoilla Gambiajoelle saakka, joilla hän m.m. löysi Kap Verden saaret, kertonut, että alkuasukkaat näillä saarilla käyttivät terävähampaista haikalan leukaluuta sahana.

KLEMM julkaisee aseita ja työkaluja käsittelevässä teoksessaan kuvia sahoista, joita MARQUESAS- y.m. saarien asukkaat hänen aikanaan (1840-luvulla) käyttivät, ja ne ovat nähtävästi valmistetut joko kovasta puusta,

johon on upotettu haikalan hampaita, tai siten, että useampia haikalan leukaluun palasia on yhdistetty toisiinsa.

Exner ja Mäkelä mainitsevat, että jo muinaiset egyptiläiset käyttivät oikeaa teräksistä sahaa. Egyptiläisten sahankäyttö oli sangen pitkälle kehittynyt ja heidän kuvanveistoksistaan selviää, minkälaisia sahoja he ovat käyttäneet. Niinpä mainitsee Exner eräästä Wilkinson'in teoksessa, »*The Ancient Egyptians*», esiintyvästä puun sahausta esittävästä kuvasta seuraavaa: »Nach dieser Abbildung stimmt jene Säge, die von einem egyptischen Arbeiter zum Zerschneiden eines vertikal stehenden Brettes benutzt zu werden scheint, mit unserem Fuchsschwanze ohne Rücken überein. Nur hat dieselbe grössere Abmessungen, als die jetz üblichen; der Rücken ist fast ebenso lang vie der Arbeiter von der Fussohle bis zur Achsel und die Bezahnung ist auf den Zug gefeilt, vie dies heute noch bei den asiatischen Völkern üblich ist.»

Jo edelläolevasta on selvinnyt, että muinaiset kreikkalaiset jo harmaassa muinaisuudessa ovat tunteneet sahan. Heidän suuret mekaaniset taipumuksensa, heidän keskuudessaanhan elivät melkein kaikki vanhan-ajan tunnetuimmat keksijät, antavat täyden aiheen otaksua, että he myös osasivat sanottua alkuperäistä konetta kehittää. Käsin käytettäviä kaarisahoja näkee kuvatun useissa muinaiskreikkalaisissa maalauksissa (*Le pitture antiche d'Ercolano*) ja erään Montfaucon'in teoksen mukaan, joka käsittelee vanhaa aikaa kuvien perusteella, voi nähdä heidän tunteneen sahan, joka suureksi osaksi oli nykyisen halkosahan mallinen.

Roomalaisten käyttämistä työkaluista ovat Herculanum'in ja Pompei'in kaivaukset antaneet mielenkiintoisia tietoja osaksi löydettyjen työkalujen, osaksi seinämaalausten, veistokuvien y.m. perusteella. Näistä mainittakoon Exner'in mukaan eräs, joka on senvuoksi mielenkiintoinen, että se osottaa puun halkisahausta. Puu on pihdintapaisella laitteella kiinnitetty hyvin alkuperäiseen höyläpenkkiin ja sahauksen toimittaa kaksi haltiatarta. Toinen istuu maassa ja toinen seisoo, siis vähän samaan tapaan kuin vielä nytkin lautoja käsin sahatessa. Sahan käyttäminen aiheena taiteilijan runolliseen esitykseen on monessa suhteessa mielenkiintoinen. Tekisipä mieli sanoa, että se osotti suurta arvonantoa ruumiilliselle työlle, joka on sitäkin merkillisempi, kun ruumiillisen työn näihin aikoihin suorittivat orjat.

Roomalaisten mahdollisia keksintöjä sahan ja sahauskoneiden alalla on vaikea erottaa kreikkalaisten keksinnöistä. Tällä niinkuin muillakin mekaanisen teknologian aloilla ovat edelliset saaneet tärkeimmät perustavat aatteensa jälkimmäisiltä.

Mutta sahan historiasta puhuessa ei suinkaan saa unhottaa ikivanhoja sivistysmaita, Kiinaa ja Japania. EXNER'in mukaan on näissäkin saha tunnettu vuosituhansia sitten ja, että näin tosiaankin on asianlaita, siitä ovat todistuksena m.m. ne kehittyneet muodot, jotka japanilainen puukkosaha jo aikaisin on saavuttanut. Niinpä ovat japanilaiset jo esihistoriallisina aikoina huomanneet, että sahalla on oleva erilainen hammastus sen mukaan, sahataanko sillä puusyiden pituus- tai poikkisuuntaan. Sitäpaitsi olivat hampaiden mitat heillä sangen lähellä nykyisiä tarkoituksenmukaisiksi havaittuja mittoja.

Kuten ylläolevasta selviää, on saha jo sangen varhain saavuttanut pääasiallisesti ne muodot, jotka sillä nykyään on. Ennen aikaan oli työvoima kuitenkin sangen halpahintaista, niin että pitkät ajat tyydyttiin suorittamaan sahausta käsin.

* * *

Koneiden käyttö puunjalostuksessa on sangen varhaiselta ajalta, vaikk'ei niitä käytettykään sahauksessa. Sorvituolin ovat jo muinaisajan tärkeimmät sivistyskansat tunteneet, mutta koneiden käyttö sahaukseen on melkoista myöhemmältä ajalta. AUSONIUS (310—395 j.Kr.), joka m.m. on kirjoittanut matkakuvauksen matkastaan Moselia ja Reiniä pitkin Bingen'istä Trieriin, mainitsee tavanneensa tällä matkalla erään pienen Roer- tai Ruer-nimisen joen varrella myllyn, jolla leikattiin kiviä. Tämän leikkaamisen otaksuu EXNER, niinkuin sangen todennäköistä onkin, tapahtuneen sahaamalla, otaksuen samalla, että sanottuja myllyjä myös on käytetty puun sahaukseen, joten ensimmäinen »sahalaitos» olisi jo näiltä ajoilta. Mitä AUSONIUS'en kertomuksiin tulee, niin voivat ne aivan yhtä hyvin kuvata laitosta, jossa kivet hiottiin kivitahkolla, joten EXNER ehkä menee liika pitkälle otaksumassaan, että samaa laitosta olisi myös käytetty puun sahaukseen, mutta toiselta puolelta voi olla mahdollista, ja sehän on tässä yhteydessä pääasia, että koneellinen puun sahaus on saanut alkunsa kiven sahauksesta.

Sahan käyttö puunjalostukseen ei kehittymättömissä oloissa ole välttämättömästi vaatinut konevoimaa. Käsisahalla, kirveellä ja höylällä voidaan valmistaa kaikki tavallisessa rakennuksessa tarvittava puutavara eikä tarvitse muuta kuin seurata olojen kehitystä syrjäisemmillä seuduilla omassa maassamme, huomatakseen, että tarvitaan koko lailla suuri rakennustoiminta samalla paikkakunnalla ennenkuin koneellista sahaa kannattaa ruveta perustamaan.

Koneellisen sahan käyttö lienee saanut alkunsa laivanrakennuksen yhteydessä. Että asianlaita tosiaankin näyttää olevan tämä, siihen viittaavat monet todennäköiset syyt. Ensinnäkin olivat laivaveistämöt paikkoja, joissa joka vuosi yhtämittaisesti tarvittiin sahatavaraa suurissa määrin ja toiseksi oli niissä käyttövoimaa, ainakin tuulta, helposti saatavissa. Niinpä näyttääkin siltä kuin ensimmäinen sahalaitos olisi ollut tuulenvoimalla käypä ja tällaisen mainitaan olleenkin käynnissä Hollannissa jo v. 1000-tienoilla. Myöskin Venetsian merivallan mainitaan jo aikaisin valmistaneen sahatavaraa vesisahoilla, jotka sijaitsivat Piave-joen laaksossa (Krünitzin muk.). Millaisia nämä sahalaitokset ovat olleet, siitä ei ole olemassa sen lähempiä tietoja. Aivan yhtä hämäriä ovat tiedot Augsburgin kaupungissa v. 1337 sijainneesta vesisahasta, joka yleensä mainitaan ensimmäisenä varmasti tunnettuna sahalaitoksena. Exner ja Beckmann ovat nim. ottaneet tarkemmin tutkiaksensa tätä asiaa ja jälkimmäinen huomaa, että Augsburgin porvariluettelossa vuodelta 1338 tosiaankin oli mainittu erään porvarin arvonimenä sahamylläri (Saegemüller), jonka lisäksi Exner löysi porvariston arkistosta vanhoja laskuja, joiden mukaan Hanrey'n käyttäjälle oli suoritettu vissi rahasumma pro asseribus & swartlingis. Saks. sana Schwärtling merkitsee toiselta puolelta sahaamatonta pintalautaa, joten, kun vielä 1840-luvulla Hanrey-nimisessä purossa kaupungin läheisyydessä oli vesisaha, näyttää ainakin todennäköiseltä, että sellainen on ollut olemassa siellä jo ennenkin. Myöhemmin onkin Pyhän Hengen Hospitalin historia osottanut tämän otaksuman sikäli oikeaksi, että tällainen saha on ollut olemassa ennen vuotta 1417, jolloin sanotun Hanrey-Mühle'n kerrotaan joutuneen erään Anna Birringer'in omaisuudeksi (Peritschin muk.).

Olemme viipyneet siksi kauan tässä asiassa senvuoksi, että täten on tullut jokseenkin selvään todetuksi oikeaksi Augsburgin kaupungin taideja käsityöhistoriassa ollut tieto, että siellä olisi löytynyt vesivoimalla käypä sahalaitos jo noin v. 1337.

1400:luvun jälkimmäisellä puoliskolla voidaan todeta vesisahoja useimmissakin paikoissa. Niinpä kertoo Peritsol, että Infantti Henrik, joka 1420 löysi Madeiran, alkaessaan sitä asuttaa rakensi saarelle vesisahoja voidakseen niillä sahauttaa saaren arvokkaita puulajeja. Samoihin aikoihin kertoo Bresslaun kaupungin historia mainitussa kaupungissa olleen vesisahoja ja jonkun verran myöhemmin kerrotaan niitä olleen Erfurt'in kaupungin läheisyydessä.

1500-luvulla alkavat vesisahat olla Saksassa sangen yleisiä. Hollannissa taas käytti sahoja tuuli. Tätä vuosisataa voidaankin pitää ensim-

mäisenä sahamyllyn leviämisaikana. Sahoja mainitaan jo silloin olleen kaikissa Euroopan vähänkin kehittyneimmissä maissa, esim. Tanskassa (CRAGIUS), Ruotsissa (MATHENIUS). JUHANA III, joka m.m. on tullut kuuluisaksi kirkkojen ja linnojen rakentajana, on todennäköisesti ollut se, joka on rakentanut ensimmäisen sahalaitoksen Ruotsiin; ja lienee tämä siis tapahtunut 1500-luvun loppupuolella. Se mainitaan rakennetuksi Norlantiin, mutta paikasta ei ole olemassa sen tarkempia tietoja. Tämä voi ehkä riippua siitäkin, että sahoja rakennettiin useita.

Milloin ja mihin Suomessa on ensimmäinen vesisaha rakennettu, on seikka, joka myös on jäänyt hämärän peittoon. Mutta tuskinpa pahoin erehdymme, sanoessamme sen tapahtuneen viimeistään 1600-luvun alkupuolella, sillä todennäköisyys, että Juhana-herttuan sahamalli myös pian löysi tiensä tänne, on tietenkin sangen suuri. Ja voidaan tämä arvelu esittää sitäkin suuremmalla syyllä, senvuoksi, että käsinsahattu puutavara jo tätä ennen oli ollut huomattu vientitavara. Aluksi vesisahoja käytettiin kuitenkin ainoastaan käsisahojen rinnalla. Käsisahaus oli nim. saavuttanut sangen suuren laajuuden. Tämän johtopäätöksen voi tehdä sen perusteella, että se on meillä säilynyt aivan viime aikoihin asti ja että sitä on myös vielä viime aikoihin asti harjoitettu vientiä varten. M.m. kehittyi meidän maassamme erityinen ammattikunta, n.k. halkisahurit, ja eräiden puutavaraliikkeiden, voipa sanoa melkein suurin tuotanto, perustui näiden toimintaan. Tällainen halkisahaus on voinut olla hyvinkin kannattava senvuoksi, että itse laitteet olivat sangen helppohintaiset ja senvuoksi, että niitä mukavasti voitiin kuljettaa paikasta toiseen.

Vesisahat perustettiin meidän maassamme alkuaan ensi sijassa kotitarvetta varten. Tällainen vesisaha oli m.m. Sarvilahden kartanolla Pernajan pitäjässä lähellä Loviisan kaupunkia jo noin v. 1660. MÄKELÄN selitys siitä on seuraava. »Siinä oli kehän kiertokanki kytketty välittömästi vesipyörän akselin kampeen. Napalaattoja oli koko laitoksessa ainoastaan kaksi ja olivat ne vesipyörän kummankin takorautaisen navan alla. Ne olivat tehdyt kivestä. Sekä liikkuva kehys että ohjaava kiinteä kehä jalustoineen, kiertokanki y.m. sahan pääosat olivat tehdyt puusta. Syöttölaitteen pyörä oli kehän sivulla ja oli se varustettu kapealla hammastetulla raudalla, jonka avulla sen pani asteettaiseen liikeeseen liikkuvaan kehään kytketty vipu. Syöttöpyörän akseli oli sijoitettu siten, että se lattiapinnan tasalla kävi läpi kehän. Tässä akselissa oli väkiä eli hampaita, jotka sopivat n.s. kelkan eli vaunun alasyrjiin tehtyihin syvennyksiin ja veivät sitä eteenpäin.

Tämä kelkka oli umpinainen kehä, jota kannattivat pienet pyörät. Kehään oli kiinnitetty tukki kiilojen ja rautaha'an avulla, sillä painovalsseja ei siihen aikaan vielä oltu keksitty. Tukki estettiin liikkumasta rautaha'an ja poikkipuiden avulla, jotka kiiloja käyttämällä voitiin asettaa sopivalle korkeudelle ja lujasti kiinnittää.»

Tämä entinen Sarvilahden saha, joka nykyään on Seurasaaren ulkomuseossa Helsingissä, antaa jokseenkin selvän käsityksen siitä, minkälaisia sahoja tähän aikaan käytettiin, sillä sahat eivät muuallakaan olleet teknillisesti paljon Sarvilahden sahaa kehittyneempiä, joskin niissä metalliosien käyttö oli yleisempi.

Ylläolevassa on näinkin laajasti selvitetty Sarvilahden saha senvuoksi, että siitä saa täysin selvän käsityksen siitä, minkälaisia ensimmäiset vesisahat ovat olleet. Ne ovat siis olleet kehys-(raami-) sahoja, joiden raamissa (tätä nimitystä käytetty senvuoksi, että se on kieleemme vakiintunut) on ollut yksi ainoa terä.

Useampien terien kiinnittäminen raamiin lienee hollantilaisten keksintöä (Prodicius). Tällaista useammalla terällä käypää sahaa on ensiksi käyttänyt Cornelius Cornelisz van Uitgeest, joka jo 1592 ymmärsi varustaa tuulen voimalla käyvän sahan tällaisella laitteella. Toiselta puolen on mahdollista, että tällainen saha on ollut olemassa 1575 Regensburgissa Tonavan varrella, jossa se kävi vesivoimalla (Pighius).

Edellä selitetyissä sahalaitoksissa oli iskunopeus sangen pieni. Täytyi miettiä keinoja, mitenkä iskunopeutta voitaisiin lisätä, ja tämä tapahtui siten, että voima-akselin kierroslukua lisättiin siirtämällä liike hihnapyörän avulla toiseen akseliin. Meillä esimerkiksi tehtiin voima-akselin toiseen päähän uurteella varustettu hihnapyörä ja siitä siirrettiin voima jonkun matkaa alemmaksi sijoitetun kampiakselin päähän kiinnitettyyn pienempään, niinikään uurrettuun pyörään. Hihnana käytettiin hamppuköyttä, tehtiinpä tällaisia hihnoja koivuvitsoistakin. (Mäkelä, y. m.).

Sen kautta, että raamin iskulukua tahdottiin lisätä, kävi välttämättömäksi tehdä itse kehys ja sitä liikuttavat osat lujemmiksi, joten puu, jota tähän asti oli mahdollisimman suuressa määrin käytetty, sai syrjäytyä monissa paikoin raudan tieltä. Erittäinkin tarvittiin lujia osia tuulella käyvissä sahoissa, sillä tuulenvoima on epätasainen. Tästä syystä mahdollisesti myöskin juuri hollantilaiset joutuivat aikaisin kehittämään sahauskoneita. Voidaankin sanoa, että suuri osa siitä kehityksestä, joka sahamyllyä ja kehäsahaa on vienyt eteenpäin 1600-luvulla, on tapahtunut Hollannissa. Tämä kuuluisa merivaltio tarvitsi puita aluksiinsa, mutta sitä-

paitsi se harjoitti huomattavaa sahatun puutavaran vientiä, sillä Rein oli hyvä uittoväylä ja sen rannoilta saatiin paljon järeitä puita. Hollannista levisi sahaustaito Ranskaan ja kokeiltiin sielläkin aluksi (DOSSIE) tuulisahoilla, jotka kuitenkin hyvin pian saivat väistyä vesisahojen tieltä. Mutta itse varsinaisen sahauskoneen konstruktioon on kuitenkin sangen suuressa määrin jäänyt hollantilaista vaikutusta. Samoin on asianlaita todennäköisesti myös Englannissa, sillä ANDERSON mainitsee, että erään hollantilaisen toimesta rakennettiin ensimmäinen tuulella käypä saha Lontoon läheisyyteen v. 1633. Tämän tarina kävi kuitenkin sangen lyhyeksi. HOUGHTON'in mukaan lienee myös Edinburgh'in läheisyydessä ollut tällainen saha. Kaikkein varmin tieto on kuitenkin vuodelta 1687, lähemmin sanoen tämän vuoden elokuun 23 päivältä, jolloin lordi ABERMALE sai patentin »*For Erecting Saw Mills to move by Wind and Water.*» Nämät muutamat seikat antavat aihetta otaksumaan, että Englannin sahateollisuus, joka myöhemmin antoi aihetta niin monipuoliseen sahauskoneiden kehitykseen, on saanut aloitteita Hollannista käsin.

Saksassa olivat vesisahat, niinkuin edellisestä on selvinnyt, 1600-luvulla sangen yleisiä. Että sieltä on saatavissa niin vähän tietoja niiden kehityksestä näihin aikoihin, riippunee pääasiallisesti 30-vuotisesta sodasta ja senjälkeisistä levottomista ajoista. RÜHLMANN julkaisee erään kuvan v:lta 1612, joka selvästi osottaa, että sahauskoneet jo tähän aikaan olivat Saksassa sangen pitkälle kehittyneet ja antaa aihetta otaksumaan, ettei Saksa 1600-luvulla ainakaan huomattavammassa määrässä ole jäänyt Hollannista ja Englannista takapajulle.

1700-luvun historia aloitetaan ehkä sopivimmin Englannista sen vuoksi, että tämä maa niihin aikoihin näytteli mitä tärkeintä osaa puun mekaanisen teknologian kehityksessä. Ensimmäisillä tämän sataluvun alussa rakennetuilla sahamyllyillä oli sangen onneton kohtalo, sillä — työväki hävitti ne peläten, että ne aiheuttaisivat työttömyyttä. Näin surullisen kohtalon alaiseksi joutui useita sahoja, m.m. on nimeltä mainittu (BAILEY) JAMES STANDSFIELD'in sahamylly. Vastuksista huolimatta näyttää sahaustaito kuitenkin kehittyneen sangen pitkälle, kuten DOSSIE'N ja BAILEY'n teokset todistavat, mutta ikävä kyllä eivät englantilaiset samalla yksityiskohtaisella tarkkuudella selvitä laitoksiaan kuin saksalaiset, joten ei ole mahdollista saada selville, mitä kaikkea uutta täällä on keksitty. Sen verran saadaan tietää (BAILEY), että vuosina 1750—1825 saatujen patenttien lukumäärä sahausalalla ylitti 300. Luonnollisesti voitaisiin patenttiselostuksista saada tietää sangen paljon mielenkiintoista, mutta toistaiseksi on tämä, muuten sangen tärkeä ala,

jäänyt tutkimatta. Eräässä toisessa yhteydessä tullaan edempänä antamaan esimerkkejä tämäntapaisten tutkimusten tärkeydestä.

1700-luvun loppu Englannissa vasta merkitsee niitä muutoksia raamisahan ja koneellisten sahojen rakenteessa, joista edellä olemme lyhyesti maininneet.

Näihin aikoihin olivat englantilaiset vallitsevina muillakin koneteollisuuden aloilla. Alkuaan olivat hollantilaiset, kuten jo edellä on mainittu, tuonneet Englantiin ensimmäiset raamisahan mallit. Ensimmäiset parannukset saharaamiin sai aikaan Englannissa Portsmouthin sotakonepajojen päällikkö kenraali, Sir Samuel Bentham. Hänen molemmat apulaisensa Isambard Brunel ja Henry Maudslay olivat hänen apunaan uusien aatteiden keksimisessä ja uusien konstruktioiden luomisessa. Suureksi hyödyksi oli heille se, että he voivat käyttää hyväkseen hyvin kehittyneen englantilaisen metalliteollisuuden tuotteita.

Näyttä todennäköiseltä, että Brunel*) olisi ollut henkilö, josta aatteet yksityiskohtiin nähden saivat alkunsa, jotavastoin Maudslay piti huolen konstruktioista. Joka tapauksessa on kuitenkin Bentham tullut kuuluisimmaksi tästä kolmikosta. **)

---

*) Brunel, joka myös on tullut tunnetuksi muiden puunjalostuskoneiden historiassa, oli ranskalainen ylimys, joka pakeni vallankumouksen aikana v. 1793 Englantiin.

**) Bentham on siksi merkillinen henkilö, että kannattaa tässä yhteydessä mainita hänestä muutama sana.

Samuel Bentham sai huolellisen kasvatuksen Westminster-koulussa Lontoossa, joka näihin aikoihin oli tieteellisistä laitoksista parhaita. Lopetettuaan opintonsa hän astui meriväkeen alkaen opiskella laivarakennusta Woolwich'in laivatelakoilla. Täällä hän opiskeli seitsemän vuotta ja perehtyi kaikkiin puu- ja metallijalostuslaitteisiin. Oppinsa saatuaan hän matkusteli toista vuotta tutkimassa muita laivatelakoita ja v. 1779 sai hän hallitukselta apurahan Pohjois-Euroopaan tehtävää tutkimusmatkaa varten, tarkoituksella tutkia laivarakennusta. Tällä matkalla ollessaan hän keksi m.m. ensimmäisen höyläyskoneen. Tällä matkalla tuli sitäpaitsi hänen kykynsä huomatuksi ja hän sai toimen Venäjällä suurten lasi-, metalli-, puunjalostus-, köysi- y.m. tehtaiden johtajana.

V. 1791 hän palasi takaisin Englantiin, jossa hänen veljensä, tunnettu kansantalousmies, Jeremy Bentham oli saanut tehtäväkseen järjestää teknillisiä töitä kuritushuonevangeille. Jeremy Bentham otti veljensä avuksi tähän työhön, sillä hän käsitti, että tällaisessa työssä oli edullista käyttää koneita, koska niiden avulla voi sellainenkin henkilö työskennellä, jolta puuttuu työhön tarpeellinen kätevyys. Näiden koneiden keksimisessä halusi Bentham käyttää veljeään apunaan. Hän muutti talonsa

V. 1810 oli jo Woolwich'in arseenaalissa käynnissä neljäraaminen höyrysaha. Höyrykoneen huimapyörästä siirrettiin voima raamin liikuttamiseen tarvittavalle polviakselille remmien kautta. Raamit itse olivat tehdyt valuraudasta, ankkuripalkit olivat kahdesta osasta ja liukutaltat puusta. Kuuluisat chattamilaiset höyrysahat, joissa oli nykyisiä muistuttavat puiden nosto- ja siirtolaitteet, rakennettiin vuosina 1812 ja 1814.

1700-luvun sahauskoneista Ranskassa mainittakoon BELIDOR'in 1736 keksimä, jota siellä pitkät ajat pidettiin voittamattomana. Ranskassa niinkuin muuallakin tähän aikaan olivat keksijät puun mekaanisen teknologian alalla sotilashenkilöitä, pääasiallisesti laivastossa työskenteleviä, ja niinpä oli BELIDOR'kin ranskalaisen laivaston tykistön tarkastaja. Yleensä voidaan kuitenkin sanoa, että Ranskassa tarvittavat sahauskoneet jo 1700-luvun puolivälistä alkaen tuotiin Englannista ja että Ranskassa on hyvin vähän itsenäistä tällä sataluvulla saatu sahauskoneiden alalla aikaan. Tämä on muuten varsin luonnollista, sillä 1700-luvun loppupuolella Ranskassa vähitellen alkoivat kehittyä ne olosuhteet, jotka lopulta purkaantuivat suureen vallankumoukseen. Mainittava on kuitenkin, että DUHAMEL DU MONCEAU, jolle ei mikään ollut vierasta puun

---

laajat huoneustot tehtaiksi ja näissä tehtaissa alettiin pääasiallisesti rakentaa puunjalostuskoneita. Tämä tehdas on ensimmäinen tällä alalla. Tästä paikasta muutettiin tehdas sittemmin v. 1796 Yorkstreet'in varrelle Lontoossa, jossa se kauan aikaa sijaitsi. V. 1852 pitämässään esitelmässä SOCIETY OF ART'SISSA mainitsee professori WILLIS, että tässä tehtaassa on valmistettu kaikenlaisia puunjalostuskoneita, siis tavallisia sahauskoneita, mutta sitäpaitsi esim. koneita vaununpyörien ja akkunavuorilautojen y. m. valmistukseen.

SAMUEL BENTHAMIN keksimät koneet herättivät siinä määrin huomiota, että hallitus antoi hänen tehtäväkseen toimeenpanna tutkimuksia puunjalostuskoneiden käyttämisestä laivanrakennuksessa. Tähän tutkimukseen ryhtyikin BENTHAM suurella innolla ja hän ei m.m. ottanut vastaan hänelle Venäjältä tehtyä erittäin loistavaa paikantarjousta. Benthamin ehdotus valmistuikin v. 1797, ja vielä samana vuonna antoi amiraliteetti hänelle tehtäväksi pystyttää käytännössä ne koneet, mitä hän tutkimuksessaan oli ehdottanut. Tällöin siirrettiin suuri osa JEREMY BENTHAMin valmistamista koneista Portsmouth'in ja Plymouth'in laivatelakoille ja näissä oli myös useita sahauskoneita. Suuri osa koneista valmistettiin JEREMY BENTHAMin tehtailla Englannin hallituksen laskuun. V. 1803 ryhtyi BENTHAM käyttämään höyrykoneita ja varmasti ei voida sanoa, milloin hän asetti käyntiin ensimäisen höyrysahan. Sen verran on kuitenkin varmaa, että BENTHAM konstruoi yhdessä edellämainittujen apulaistensa kanssa 19:nnen vuosisadan ensimäisellä vuosikymmenellä höyryllä käyvän raami-

mekaanisen ja kemiallisen teknologian alalla, sai paljon aikaan järkiperäisten sahanterämallien kehittämisen alalla ja että hän myös on lausunut, niin sanoaksemme, sahanterää koskevan tieteen perusteet. Du Monceau'n suunnittelemista ja rakentamista koneista mainittakoon m.m. hevoskierron avulla käytettävän sahan, joka muuten vielä nytkin olisi käytännöllinen kotitarvesahana, keksiminen.

1700-luvun Saksassa ovat vesisahat saavuttaneet moninaisia ja sangen täydellisiäkin muotoja. Sangen yleiseksi jäi kuitenkin muoto, joka ei suurestikaan eronnut edellä selittämästämme Sarvilahden sahasta. Sitävastoin jo tällä sataluvulla tuli saha-alallakin esille saksalaisten erikoinen taipumus kirjojen kirjoittamiseen, sillä jo 1819 julkaisi »Mühlenbaumeister Sturm in Augsburg» teoksensa *Vollständige* (sic!) *Mühlenbaukunst*, jossa selitettiin saksalaisella perinpohjaisuudella, kuinka sahamylly on rakennettava.

---

sahan. Tällä tavalla Bentham oli oikeastaan pannut myöskin alulle nykyaikaisen raamisahan kehityksen. Kuinka suurimerkityksellisiä Benthamin ja Brunelin keksinnöt jo heidän aikalaistensa mielestä olivat, sitä todistaa m.m. sekin, että Jeremy Benthamin tehtailta yksinomaan hallitus v. 1813 tilasi puunjalostuskoneita 20,000 punnan arvosta. Samuel Benthamia sanotaankin Englannissa puunjalostuskoneiden isäksi.

Mainittakoon muuten, että Bentham oli henkilö, joka ehkä paremmin kuin kukaan muu tunsi muutkin siihen aikaan saakka keksityt koneet. Mutta puunjalostuskoneet olivat vielä silloin niinkuin nytkin siksi vähän tunnettuja suurelle yleisölle, ettei Benthamin nimeä tavallisesti vielä nytkään mainita suurten keksijöiden joukossa. Tosiasia on kuitenkin, että Bentham on tehnyt ehkä enemmän hyödyllisiä keksintöjä kuin yksikään muu suurena keksijänä mainittu henkilö.

II. Raamisahan ja sen osien kehitys 1800-luvulla.

Kun täten on alettu 1800-luku, on se kokonaan erotettava erilleen edellisistä, syistä, jotka jo edellisen luvun puitteissa ovat tulleet selville, nim. pääasiallisesti sen vuoksi, että höyryvoiman käyttö sahateollisuudessa vuosisadan vaihteessa alkaa mahtavasti vaikuttaa myös siinä käytettävien koneiden kehitykseen ja että rauta ja teräs tulevat tämän alan raaka-aineiksi. XIX vuosisata jo oikeastaan lopettaa sahauskoneiden historiassa sen ajanjakson, jonka voidaan katsoa käsittävän niiden alkuvaiheet, mutta toiselta puolen on tämä vuosisata luonut kaikilla aloilla niin moninaisia muotoja, että, jos esim. ajatellaan sen puoliväliin asti käytettyjä sahauskoneita, niin tavataan niissä muotoja, jotka meistä tuntuvat ainoastaan jonkunlaisilta nykyaikaisten sahauskoneiden alkumuodoilta ja sen vuoksi mahtuu niidenkin käsittely tämän kirjoituksen puitteisiin.

Tekniikan nopeasta kehityksestä XIX:llä vuosisadalla on ollut luonnollisena seurauksena, että kävisi mahdottomaksi ruveta luettelemaan ja selittämään läheskään kaikkia tämän vuosisadan ensimmäisellä puoliskolla luotuja raamisahamuotoja, vaan on paremminkin rajoituttava seuraamaan tärkeimpien yksityisten osien kehitystä, sillä siten voidaan parhaiten luoda käsitys siitä, kuinka monien välimuotojen kautta on saavutettu se täydellisyys, joka nykyisillä sahauskoneilla on.

Tällainen esitys tulee kuitenkin kohtaamaan erään suuren vaikeuden. Se edellyttäisi oikeastaan, että pitäisi tuntea, kuinka laajasti kukin keksijä on ollut perehtynyt edeltäjiensä keksintöihin. Tällaisesta seikasta ei kuitenkaan voida saada tietoja muuten kuin joissakin yksityistapauksissa, mutta löytyy eräs seikka, joka oikeuttaa käyttämään tämäntapaista »kehitysopillista» tutkimusmetoodia ja se on se, että tekniikan kehitys kulloinkin luo vissejä peruskysymyksiä, joiden ratkaiseminen väkisin muodostuu tekniikan tärkeimmäksi tehtäväksi jonakin määrättynä ajankohtana ja juuri täten tulevatkin ne henkilöt, jotka jonkun määrätyn teknillisen tehtävän ratkaisemiseksi työskentelevät, väkisin ottaneeksi niin laajasti kuin se heille on mahdollista selvää siitä, mitä

kysymyksen ratkaisuun nähden on ennen saavutettu. Ollaan siis suurin piirtein, kun vielä otetaan huomioon aika, oikeutetut asettamaan rinnatusten teknillisten luomien eri muodot kehittymättömästä kehittyneempään päin ja ollaan tämän perusteella oikeutetut konstateeraamaan jonkun määrätyn koneosan kehitys.

Tarkoitus on tällä kertaa seurata vain allamainittujen raamisahaan kuuluvien osakoneistojen kehitystä.

A) Raami ja sen liukulaitteet.
B) Sahanterän kiinnittämiseksi raamiin käytetyt laitteet.
C) Raamin liikkeellepanolaitteet.
D) Sahattavan puun kiinnittämistä varten tarvittavat laitteet.
E) Syöttölaitteet.

A. Raami ja sen liukulaitteet.

Saharaamin kehitykselle ovat antaneet leimansa pääasiallisesti seuraavat sille asetettavista tärkeimmistä vaatimuksista:

1) Mahdollisimman suuren lujuuden yhteydessä mahdollisimman pieni paino. Saharaamin painosta on etua ainoastaan raamin alaslaskeutuessa, jotavastoin raskaan raamin nostaminen ylös merkitsee hukkaanmennyttä työtä. Raamin liikkuessa vaakasuorassakin asennossa on luonnollisesti liikapainosta haittaa.

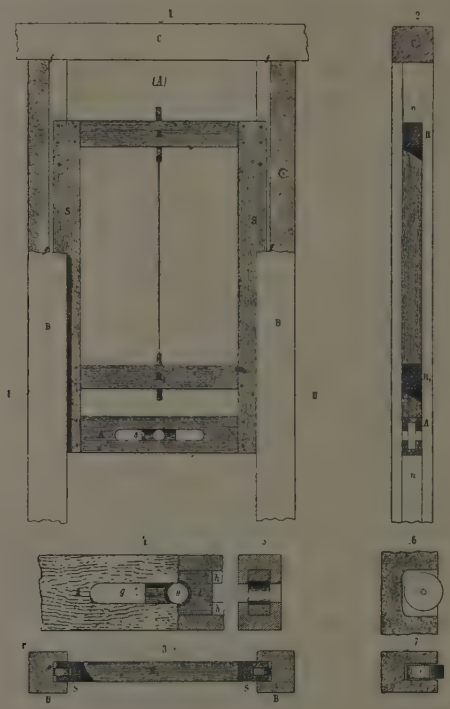
2) Raamin tulee kestää sahanterän jännityksestä johtunut rasitus ja samalla tulee voimakoneen voida sitä liikuttaa siten, että sahanterien jännitys ei siitä häiriinny.

3) Raamin tulee olla siten rakennettu, että hankaus liukuosia vastaan on mahdollisimman pieni, mutta sen liike kuitenkin samalla vakava ja mahdollisimman vähän voimakonetta rasittava.

Ensimmäinen vaatimus saavutettiin luonnollisesti parhaiten tekemällä raami puusta ja sellainen se olikin 1800-luvulle asti. Puinenkin kehys voi olla erittäin luja, kun se vain oli järkiperäisesti rakennettu ja myöskin sitä konstruoitaessa on tehty keksintöjä, jotka myöhemmin ovat osottautuneet hyödyllisiksi. Samoin on tässä yhteydessä keksitty tarkoituksenmukaisia liukujärjestelmiä. Tahdomme seuraavassa juuri näistä syistä selvittää kaksi tällaista raamia. Toisen niistä on Leonhardt Christof Sturm'in keksimä ja on hän sen itse kuvannut sahateollisuutta koskevassa teoksessaan v. 1819, jälkimmäisen keksijää taas ei tunneta, mutta on se kuvaajansa Franz Josef Ritter von Gerstner'in mukaan ollut sangen

yleisesti käytännössä Saksan ja Itävallan vesisahoissa 1830-luvun tienoilla.

STURM'in raamissa ovat ankkuripalkit R ja R_1 kiinnitetyt aisoihin S ja S_1 tapituksella. Sivut jatkuvat R_1:n alapuolelle ja on niihin kiinnitetty ankkuripalkkien kanssa yhdensuuntainen poikkisalpa A. Jalustan muodostavat kaksi pystysuoraa pylvästä B ja vaakasuora poikkipuu C.



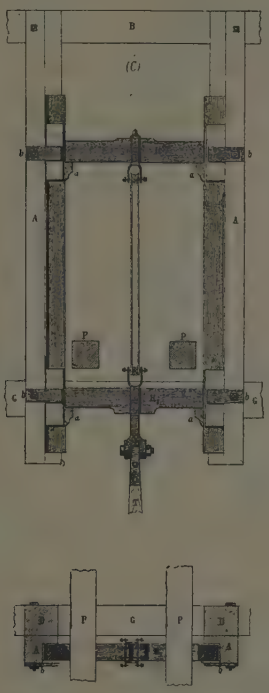
Kuva 1. STURM'in raami.

Erittäin mielenkiintoinen on liukujärjestelmä. Molemmissa sivupylväissä B on, kuten kuvasta näkyy, koro n, joka on yhtä leveä kuin sivut S ja S_1 ovat paksut. Tämän poikkileikkaus kohdalta I—II näkyy myös kuvassa. Ominaiset STURM'in konstruktiolle ovat *liukurullat*, jotka ovat näkyvissä kuvissa 3, 6 ja 7.

Nämä rullat ovat laakeroidut sivujen avonaiseksi jätettyyn kohtaan ja liikkuvat jalustaa vastaan pinnassa ff ja korossa n.

Kuten edelläoleva selitys osottaa ja myös kuvista näkyy, on liukumisjärjestelmä erikoinen ja sen suhteen kannattaa panna muistiin rullien käyttö, joka siis on näin vanha. Liikkeelle asetetaan raami poikkipuuhun A yhtyvien laitteiden avulla, joiden selittäminen kävisi tässä yhteydessä liian pitkäksi.

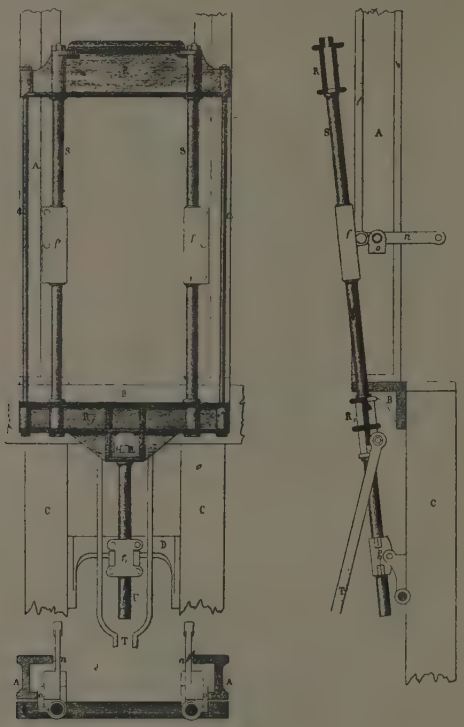
Von Gerstner'in raamille on ominaista se, että raamin painoa on



Kuva 2. Gerstner'in raami.

vähennetty tekemällä ankkuripalkit kapeammiksi kummastakin päästään, joten molemmat aisat voivat liikkua jalustan kummassakin pystysuorassa pylväässä olevassa syvennyksessä. Saharaamiin, jonka rakenne muuten selviää kuvasta, on kiinnitetty liukuosat, jotka olivat tehdyt jostakin kovasta puulajista. Ne ovat merkityt kirjaimilla L_1, L_2, ja niiden asemasta ja merkityksestä antaa myös kuva 2 käsityksen.

Että edellä olevat raamimuodot olisivat ainutlaatuisia, voidaan tuskin otaksua. Päinvastoin on todennäköistä, että ne ovat olleet käytännössä useissa sahoissa ja että niiden keksijänä voidaan aivan yhtähyvin pitää jotain muutakin henkilöä kuin niiden kuvaajaa. Sen vuoksi voidaankin ainoastaan katsoa niiden osottavan sitä *yleistä kehitystasoa*, mikä osaksi



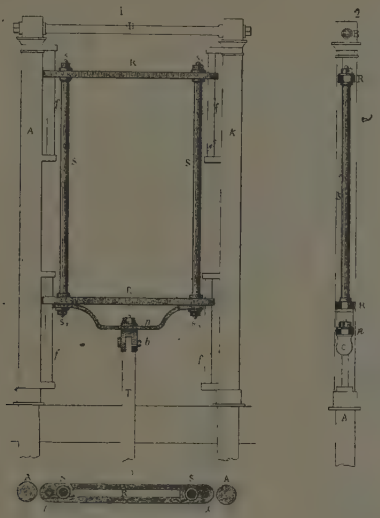
Kuva 3. BRUNEL'in raami.

puisen ja osaksi rautaisen raamin rakenteessa oli saavutettu 1800-luvun alkupuolella ja voidaan näiden kahden esimerkin perusteella todeta, että liukurulla ja liukutaltta jo tällöin olivat käytännössä.

Todettua nämä kaksi tärkeätä seikkaa osaksi puisen ja osaksi rautaisen sekä muuten sangen kehittyneen raamin suhteen, siirrytään rautaiseen ja teräksiseen raamiin, jollaisena on ensiksi mainittava ISAMBARD BRUNEL'in 26 päivänä maaliskuuta 1813 patentin saanut

raami. Ankkuripalkit R ja R_1 ovat valuraudasta ja niiden läpi ovat sylinterinmuotoiset aisat S ruuvatut. Varret a lävistävät samalla tavalla ankkuripalkkien R ja R_1 pidennykset ja on niiden tarkoituksena lujittaa raamia sahanterien yhteisen jännityksen aiheuttamia muodonmuutoksia vastaan.

Raamin liukuminen on järjestetty seuraavalla tavalla: sylinterinmuotoiset aisat liukuvat laakerissa f ja f ja raamin kanssa samassa tasossa oleva ja siihen ruuvilla m kiinteästi yhdistetty tanko U laakerissa f_1.



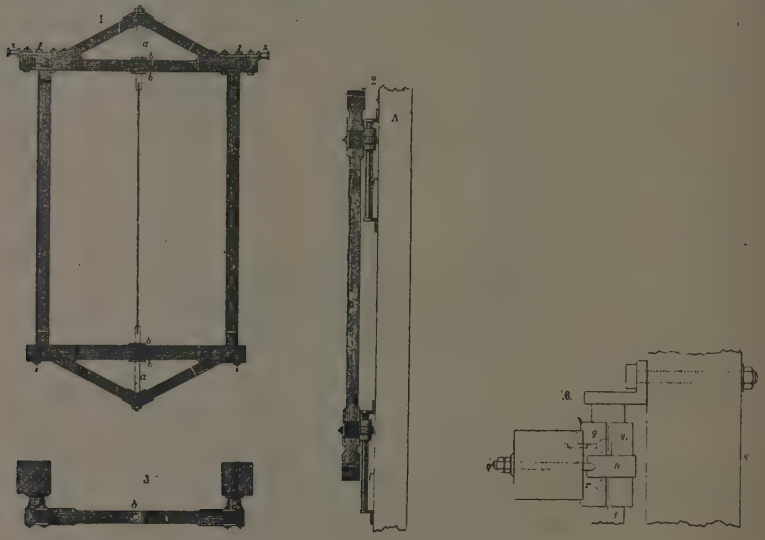
Kuva 4. BRUNEL'in (?) raami.

Liukumisessa syntyvä hankaus jää, kuten kuvasta hyvin selviää, pieneksi siitä huolimatta, että hankauspintoja on 3.

ISAMBARD BRUNEL'in raami on muodoltaan myöhemmin tehtyjen kehittyneiden raamien kaltainen. Se osottaa tekijänsä kykyä konstruoimisessa ja todennäköisesti on raaka-aineen, rohkenemmepa sanoa kehnous, nykyisiin verraten aiheuttanut sen, ettei hänen suunnittelunsa sellaisenaan ole päässyt pitemmälle kehittymään. Sen viaksi on jäänyt sen liian suuri heikkous, joka johtui sen aikuisista raaka-aineista. Jos aisat olisi voitu tehdä yhtä hyvistä teräsputkista kuin nykyään, olisi raami vastannut sangen suuria vaatimuksia.

Todennäköisesti BRUNEL'in keksimä on myöskin se saharaami, jota ed. siv. oleva kuva esittää. Siinä on liukumiskoneistona neljä sylinterimäistä tankoa f, jotka ovat yhdistetyt aisoihin A. Ankkuripalkit ovat pidennetyt aisojen ulkopuolelle sekä oikealle että vasemmalle ja näissä pidennetyissä osissa on reijät, joissa ohjaustangot f liukuvat.

Kuten nämät molemmat konstruktiot osottavat, piti BRUNEL hyvin tärkeänä, että raami saisi heilumattoman kulun. Tämä johtui m.m. siitä, että täten saatiin suorakulmaista sahatavaraa, jonka sivupinnat olivat yhdensuuntaiset, ja on BRUNEL muuten juuri siinä suhteessa kehittänyt



Kuva 5. KANKELWITZ'in raami.

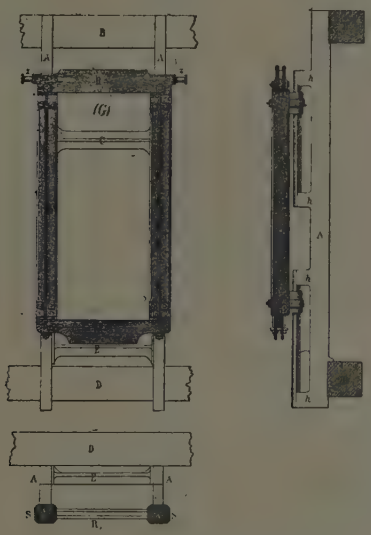
sahauskoneita, että hän on koettanut keksiä muotoja, joiden avulla voitiin sahaus saada tarkaksi.

KANKELWITZ'in saharaami on parikymmentä vuotta vanhempi kuin BRUNEL'in raamit. A on pylväs, johon on kiinnitetty liukutanko f, joka liukuu laakerissa g. Kirjaimella g merkitty osa suuremmassa mittakaavassa olevassa piirustuksessa on pockenholzia ja on se kiinnitetty ankkuripalkkiin neljällä ruuvilla r. Raamista poispäin oleva osa g' on kiinnitetty kaarella p ja sen pitennyksellä q saharaamin etuosaan.

KANKELWITZ'in raami on sekin sangen hyvin suunniteltu ja on se tässä yhteydessä mainittu pääasiallisesti sen vuoksi, että siinä on liuku-

mista järjestettäessä ensi kerran käytetty rengaslaakeria tavalla, joka myöhemmin on useissa raamimuodoissa esiintynyt. Sitäpaitsi ansaitsee tämä raamimuoto mainitsemista myöskin sen vuoksi, että siinä on käytetty liukumisen järjestämiseksi pockenholzilaakeria ja siten siis otettu ensi kertaa käytäntöön tämä tärkeä laakeripuulaji, joka sittemmin on saavuttanut niin suuren merkityksen. Tämän samoin kuin seuraavankin KANKELWITZ'in saharaamin on HOFFMANN selittänyt.

Siinä on aisoina käytetty rautaputkia kuten BRUNEL'in raamissa.



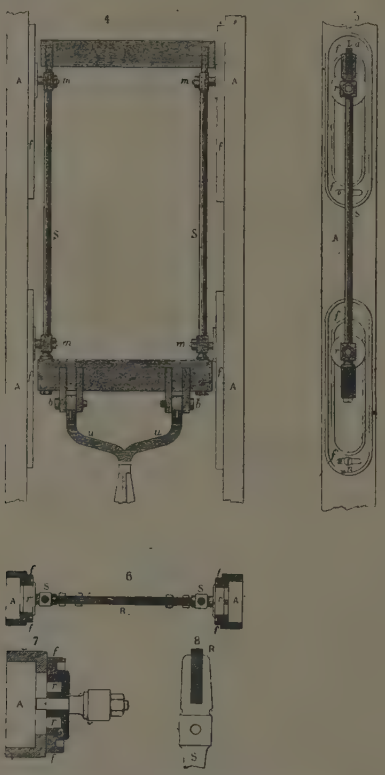
Kuva 6. Eräs KANKELWITZ'in raami.

Liukuminen on järjestetty tangoilla, joiden poikkileikkauspinta on neliön muotoinen ja jotka ovat yhdensuuntaiset A:lla merkittyjen osien kanssa. Nämä liukutangot ovat kahden kahdesta osasta kokoonpannun laakerin ympäröimät. Näitä taas pitää koossa rengas, joka on kiinnitetty ruuvilla ja mutterilla raamiin.

Tässä raamissa herättää mielenkiintoa erikoisesti se, että tässä liukuosissa ennen poikkileikkaukseltaan ympyränmuotoiset tangot ovat korvatut poikkileikkaukseltaan neliönmuotoisilla. Tämä seikka ansaitsee huomiota senvuoksi, että neliöllä on pinta-alaansa nähden pienin piiri, joten tässä on samalla kertaa saavutettu samaa lujuutta kohti pienin

hankaus. KANKELWITZ olikin teknillisesti ja matemaatisesti sivistynyt, hän m.m. oli ollut mekaniikan professorina Leipzigin yliopistossa.

Erikoista mainitsemista ansaitsee myös DUBOURG'in saharaami. Tämä on englantilainen keksintö, vaikka sitä usein myöskin mainitaan ranska-



Kuva 7. DUBOURG'in raami.

laiseksi, sen vuoksi, että se on ensi kerran ollut käytännössä *Auzun*'iin rakennetussa sahalaitoksessa Ranskassa. DUBOURG oli, vaikka nimestä voisi otaksua toista, englantilainen ja oli hänellä apunaan muitakin englantilaisia insinöörejä *Auzun*'in sahalaitosta rakennettaessa. Ranskalaiseksi on DUBOURG'in saharaamia otaksuttu myös senvuoksi, että se saavutti pian Ranskassa sangen laajan käytännön ja että sitä siellä on

myöhemmin kehitetty, joten sen perusteella on syntynyt useita ranskalaisia saharaamimuotoja.

Ankkuripalkki R on kiinnitetty pihdintapaiseen syvennykseen. Alinen palkki on taas kiinnitetty siten, että palkin läpi on vedetty ruuvi, joka päättyy mutteriin.

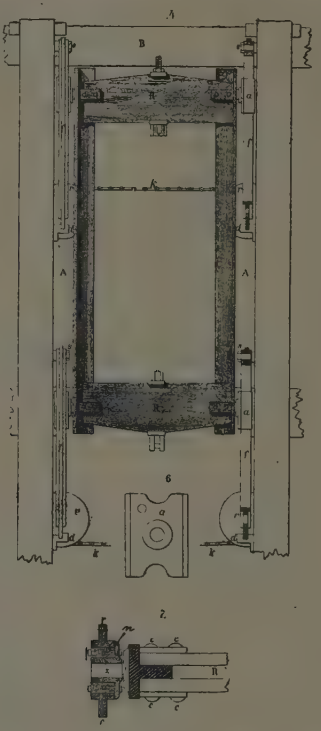
Liukulaitos näkyy myös varsin selvästi kuvastamme. Siihen kuuluu pylvääseen A upotettu liukupinta f sekä siihen vastaava liukutaltta r. Liukutaltta f:n asema selviää parhaiten raamin edestä otetusta kuvasta. Edellä mainitut yksityiskohtat sekä liukutalttojen rakenne taas selviävät pitemmittä selityksittä kuvista 6 ja 7. Tämä saharaami ansaitsee mainitsemista erikoisesti sen vuoksi, että sen liukujärjestelmä on osottautunut sangen käytännölliseksi vaakasuorissa raameissa, joissa se hyvin pitkäksi aikaa tuli käytäntöön ja on sitä nytkin faneerisahoissa.

Myös tämä raami näyttää nykyaikaisten rinnalla hyvin heikolta. Selitykseksi onkin senvuoksi mainittava, että se on rakennettu hyvin pienelle, 100—150, iskuluvulle. Vaakasuorissa raameissa, joissa, kuten esim. faneerisahassa, on ainoastaan 1 terä, ei luonnollisesti raamilta suurta lujuutta vaaditakaan ja senvuoksi voi tällainen konstruktio siinä hyvin täyttää tehtävänsä. Dubourg'in raami on myös hyvä esimerkki siitä, miten moni keksintö usein voi osottautua käytännölliseksi aivan toiseen tarkoitukseen kuin keksijä on aikonut.

Sille, joka tuntee Dubourg'in saharaamin, on Hazard Knowles'in 1800-luvun puolivälissä keksimä raami samalla tunnettu, sillä pääkohdissaan ovat ne sangen yhtäläiset. New York'issa julkaisemassaan v. 1854 selostuksessa väittää Knowles itsensä sen aatteen isäksi, vaikka samanlainen raami oli Ranskassa tunnettu jo kolmisenkymmentä vuotta sitten. Kannattaa edelleen mainita, että v. 1865 esiintyi Stuttgart'issa Charles Ehman niminen henkilö, joka loppujen lopuksi esittää tämän saman keksinnön omanaan. Vaikea on tietää, tunsiko Knowles Dubourg'in keksintöjä, mutta hyvin luultavaa se kuitenkin on, sillä tähän aikaan olivat jo olot siksi kehittyneet, ettei ole mitenkään merkillistä, että Amerikassa tiedettiin, millaisia sahanraameja Ranskassa käytetään. Joka tapauksessa on kuitenkin myönnettävä, että Knowles on ainakin sangen huomattavassa määrin kehittänyt Dubourg'in raamia ja senvuoksi on syytä mainita pääkohdat hänenkin keksinnöstään.

Tärkeä uutuus Knowles'in raamissa on se, että jalusta on tehty H raudasta ja aisoihin taas on käytetty T rautaa. Täten on saavutettu pienempi paino ja suurempi lujuus kuin edellisissä konstruktioissa. Hankauspintoja on 4 (merk. kirjaimella a). Näitä vastaa T-muotoiset liuku-

kiskot f ja esim. osa n muistuttaa suuresti DUBOURG'in raamia. Täytyy kuitenkin sanoa, että KNOWLES'in raamin voidaan aivan yhtä hyvin sanoa muistuttavan BRUNEL'inkin raamia, joten se aivan hyvin voi olla itsenäinenkin. Se voi ehkä myös olla todistus siitä, että eri maanosissa voidaan aivan sattumalta jo siitä syystä, että voitettavat teknilliset vai-

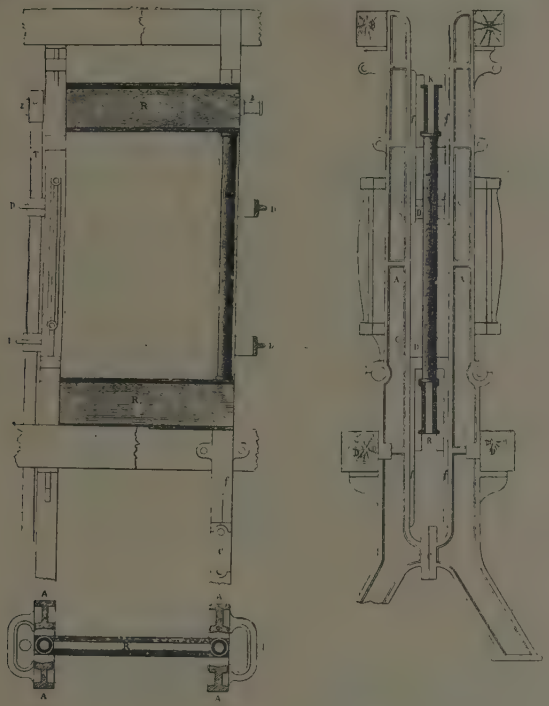


Kuva 8. HAZARD KNOWLES'in raami.

keudet ovat samat, päästä melkein samoihin lopputuloksiin. Raami on mainittu paitsi sen väittelyn vuoksi, mikä siitä on syntynyt, myös sentähden, että se on antanut aihetta monien Amerikassa käytettävien raamimuotojen syntymiseen.

Niistä raamisahan muodoista, joilla on ollut merkitystä sahatekniikan kehityksessä on ehdottomasti myös mainittava PAUPIE'n ja NATTLAND'in n.k. *vaihtoraami*. Sen rakenteen pääpyrkimyksenä oli tehdä raami vaihdettavaksi siten, että se pienellä vaivalla voitiin nostaa pois ja sen sijalle

asettaa toinen. Tarkoituksena tällä toimenpiteellä oli säästää se aika, joka kuluu sahanterien vaihtamiseen ja joka sahauksessa menee hukkaan. Tämä aika on luonnollisesti sitä suurempi mitä useampia teriä raamissa on ja merkitsee siis sitä enemmän mitä suurempia puita sahataan. Tämä



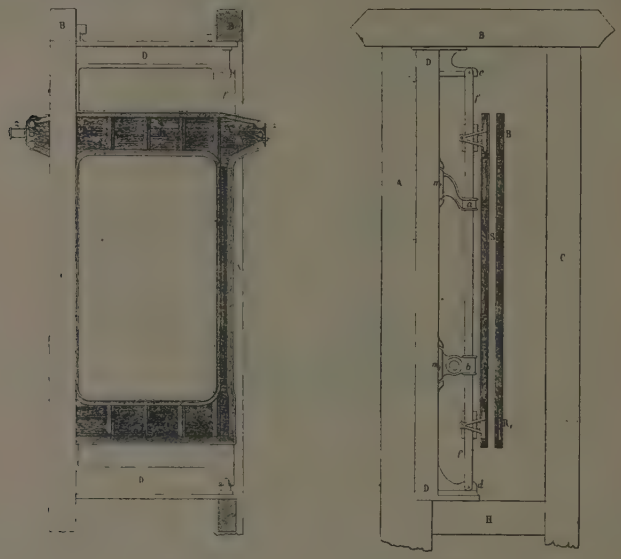
Kuva 9. PAUPIE'n ja NATTLAND'in raami.

saavutettiin siten, että raami oli järjestetty helposti poistettavaksi, joten sen sijalle voitiin asettaa uusi.

Tämän aatteen toteuttaminen, jota keksijä itse piti pääasiana, ei kuitenkaan onnistunut, joten raami pian joutui pois käytännöstä, mutta sitävastoin tehtiin eräs toinen tärkeä keksintö, joka ansaitsee mainitsemista nimittäin se, että tässä raamissa ensiksi käytettiin erillisiä prismanmuotoisia liukutalttoja. Aluksi olivat ne kiinteästi yhdistetyt kehykseen, joten etuna oli ainoastaan prisman muoto, mutta myöhemmin ne tehtiin suunnilleen sen muotoisiksi kuin nykyäänkin käytetyt. Tämän keksin-

nön avulla voitiin hankausta suuressa määrin pienentää ja samalla saavutettiin se etu, että raamin hölkkyminen huomattavasti väheni.

TELTSCHIK Wienistä käytti ensikerran*) kahdesta yhdensuuntaisesta osasta tehtyä ankkuripalkkia tai oikeammin sanoen, rakensi raamin, joka tavallaan oli yhdistetty kahdesta samanmuotoisesta suorakaiteesta kuten myötäliitetty kuvio osottaa. Täten saavutettiin m.m. paljon pienempi



Kuva 10. TELTSCHIK'in raami.

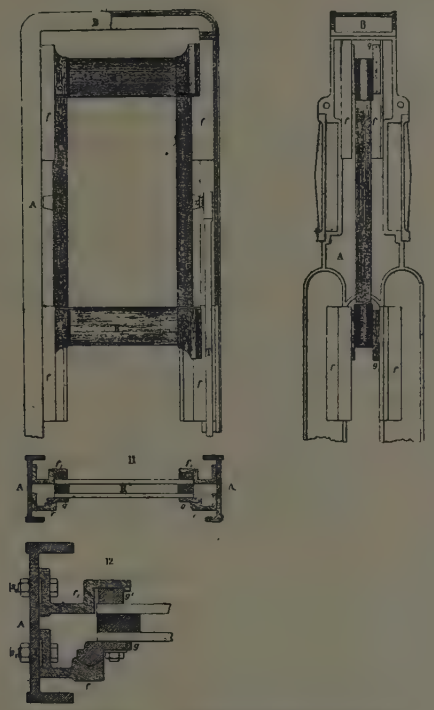
paino kuin ennen, jotapaitsi sahanterien kiinnitys kävi yksinkertaisemmaksi. TELTSCHIK'in raamissa käytettiin myös ensi kerran sanan nykyisessä merkityksessä liukukiskoja, jotka olivat ruuvien (ab ja cd) avulla siirrettävät.

Viimeisenä mainittakoon erään tuntemattoman keksijän 1860-luvulla rakentama raami, jonka myös EXNER on kuvannut ja joka todennäköisesti on saksalaista tekoa. Raamin jalusta on 2-osainen ja liukuu raami 8:aa liukupintaa vastaan. Kehys taas on, kuten nykyaikaisissakin sahoissa, varustettu 2-osaisella ankkuripalkeilla R ja R_1 ja liukutalttamuodostuksen osottavat kuv. 11 ja kuv. 12. Liukutalttoja on 4 raamin ylä- ja 4 sen

*) Oikeastaan oli BENTHAM ensimmäinen 2-osaisen ankkuripalkin käyttäjä, mutta hänen ankkuripalkkinsa joutui pian unohduksiin.

ala-osassa. Toisessa on hankauspinta 3- pintainen särmiö tai oikeammin särmiön 2 sivupintaa, toisena taas hankauspintana on 2 parallellipipedin sivupintaa.

On selvää, että tällainen liukulaite mitä suurimmassa määrin takaa raamille sen sopivimman liikkeen. Se muistuttaakin sangen suuressa



Kuva 11. Raami 1860-luvulta.

määrin nykyään käytännössä olevia liukulaitteita, kuten itse raamisaha kokonaisuudessaankin on sangen paljon nykyisten sahojen kaltainen.

Kuten kuvasta näkyy, on raami pantu liikkeelle raamin sivulla olevan kiertokangen avulla. Voi riippua juuri tästä seikasta, että keksijä on ollut pakoitettu laatimaan näin kehittyneen liukulaitteen.

Vaikka tämän raamin rakenteessa on monta yksityiskohtaa, jotka tekevät sen vähemmän soveliaaksi käytännössä, niin on se liukulaitteensa

puolesta kaikkien edelläselitettyjen raamien edellä ja sen keksijää voitaisiin täydellä syyllä pitää nykyisen liukulaitteen yhtenä keksijänä.

* * *

Edellä on poimittu muutamia esimerkkejä raamien ja liukulaitteiden rakenteesta. On syytä vielä kerran mainita, että on koettettu valita ain. ne, jotka edustavat jotain määrättyä kehitysastetta ja että, koska jokainen keksintö aina tuo mukanaan sarjan miltei samanlaisia keksintöjä, tämäntapaisia kuvauksia olisi voinut tehdä useampiakin, mutta niiden avulla ei olisi saavutettu sen suurempaa selvyyttä aiheen tutkimisessa.

B. Sahanterän kiinnittämiseksi raamiin käytetyt laitteet.

Jo edellä on mainittu, että sahanterän jännitys vaikuttaa paljon raamin konstruktioon ja voidaan sanoa, että se on ollut suurena esteenä tarpeeksi leveiden ja nopeasti liikkuvien raamimuotojen aikaansaamisessa aikoina, jolloin teräs ei ollut yhtä helppohintaista eikä lujaakaan kuin nyt. Toiselta puolelta on sahanterä kiinnitettävä raamiin siten, että se pysyy asennossaan ja että sitä terän venyessä voidaan jännittää. Lopuksi tulee kiinnitystavan olla sellaisen, että terät mahdollisimman vaivattomasti voidaan vaihtaa. Terien siirtäminen lähemmäksi ja kauvemmaksi toisistaan niitä raamista irroittamatta on myös saavutus, johon tällä alalla on yritetty pyrkiä.

Se jännittävä voima, mikä sahanterällä raamiin nähden on, on sangen tuntuva ja mainittakoon tässä yhteydessä, että KANKELWITZ oli ensimmäinen, joka yritti sitä laskea, voidakseen edullisesti konstruoida sahanraameja, joilla mahdollisimman pieneen painoon liittyi mahdollisimman suuri lujuus. Jos sahanterän paksuus on noin 2—3 mm., vaaditaan sen jännittämiseksi hänen mukaansa voima, joka kg:ssa lausuttuna on 200 s^2, jossa s merkitsee sahanterän paksuutta. Kaikkien raamiin kiinnitettyjen sahanterien jännitykseen tarvittava voima saadaan laskemalla yhteen ne voimat, jotka tarvitaan kunkin sahanterän jännitykseen erikseen. Selvää on, että täten, kun sahanterien lukumäärä on suuri, tulee kysymykseen sangen suuret voimat.

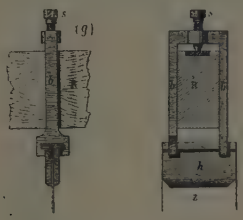
Paitsi sitä, että saharaamin siis tulee olla lujan, tulee luonnollisesti myös niiden laitteiden, joilla terät raamiin kiinnitetään olla sangen lujia. Mutta toiselta puolen on vältettävä liika painavia ja liiaksi tilaa ottavia

laitteita ja täten onkin täytynyt käyttää monia muotoja ennenkuin on päästy nykyisiin. Näitä laitteita kutsutaan nykyään ankeleiksi, joka nimi kuitenkin on sangen nuori, sillä vanhemmissa teoksissa ei niillä yleensä ole nimeä, lukuunottamatta englantilaista nimeä, *hangings*.

Seuraavassa käytetään niille kuitenkin ankeli-nimitystä, vaikkei se ollutkaan tunnettu silloin kuin ne keksittiin.

Aluksi oli tapana kiinnittää ankelit siten, että ankkuripalkki itse jäi ankelin sisälle. Esimerkkinä tällaisesta kiinnitystavasta mainittakoon Boileau'n ankeli, jonka kuva 12 esittää. Siitä selviää m.m. että sahanterään oli kiinnitetty T-muotoinen osa (h), joka taas, samaan tapaan kuin laatikko pöytään voitiin sovittaa ankelin kehyksiin b ja b. Sahanterän jännittäminen tapahtui ruuvilla S.

Brunel'in ankeli on vanhimpia keksintöjä alallaan senjälkeen kuin sahauskoneissa oli päästy kehittyneempiin muotoihin. Se on vuodelta 1812. Kuvassa 13 on t varsinainen ankelikoukku, johon liittyy ankkuripalkin ympäri kiertyvä rengas. Tämä vastaa toiseen koukkuun u, jonka



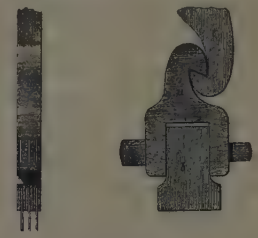
Kuva 12. Boileau'n ankeli.

ala-osa on pihtimäinen. Se voidaan siten kuin kuvamme osottaa lävistää vinokiilalla k, joka taas puolestaan jännittää sahanterää tai helpottaa sen jännitystä. Tämä ankeli ansaitseekin mainitsemista juuri senvuoksi, että siinä luultavasti ensikerran on otettu kiila tässä tarkoituksessa käytäntöön.

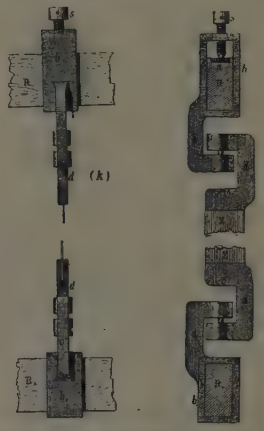
Brunel'in käyttämää koukkua muistuttaa suuresti se ankeli, jonka G. Green v. 1856 julkaisi *London journal*'issa ehdottaessaan parannuksia sahauskoneisiin. Se eroaa siitä kuitenkin monessa oleellisessa kohdassa. Sitä esittää yksityiskohtaisesti kuva 14. Rautainen kehys b ympäröi ankkuripalkkia R. Kehyksestä lähtee sakara c, joka päättyy ympyrän muotoiseen levyyn, jonka keskipisteestä kohoaa kuvassa näkyvä nasta. Sakarassa d on samankokoinen ympyrä, jonka keskellä on reikä, joka vastaa sakaran c ympyrässä olevaan nastaan. Sahanterä on kiinteästi yhdistetty sakaraan d. Jännitys tapahtuu ruuvin S avulla.

Se, että sahanterä on kiinteästi yhdistetty sakaraan d, on tämän konstruktion suurin vika. Onhan esim. terottaessa hyvin hankalaa, että sahanterän molempiin päihin on kiinnitetty tällaiset raskaat kappaleet ja tällainen kiinteä yhdistys on haitallinen myös itse sahauksessa.

Kehittyneempien ankelimuotojen edellytyksenä oli oikeastaan se, että ankkuripalkki tehtiin kahdesta osasta. Tällaisista mainittakoon ensimmäiseksi TELTSCHIK'in kiila-ankeli (kuva 15). b on hyvin ohut teräs-

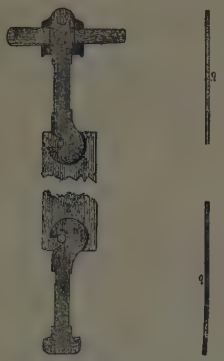


Kuva 13. BRUNEL'in ankeli.



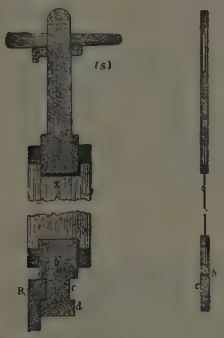
Kuva 14. GREEN'in ankeli.

levy, joka ala-osassaan jakaantuu kahdeksi yhdensuuntaiseksi levyksi, joiden väliin jää sahanterän levyinen rako. Alhaalla sitä vastaa melkein samanmuotoinen päinvastaiseen suuntaan käännetty levy b'. Ylemmän levyn b yliosassa on vastakiilat n ja r, joista r vastaa ankkuripalkkiin. Kiila n on kiinnitetty akseliin o, joten se kiilaa k sisään työnnettäessä saa kulloinkin sopivan asennon.



Kuva 15. TELTSCHIK'in ankeli.

Olkoon mainittu, että TELTSCHIK ensimmäisenä käytti ankelinimitystä, kutsuen laitettaan nimellä *Charnier-angel*. Teltschik'iä voidaan pitää kiila-ankelin varsinaisena keksijänä. Se tuli senjälkeen laajalti käytäntöön ja on siinä säilynyt meidän päiviimme asti.

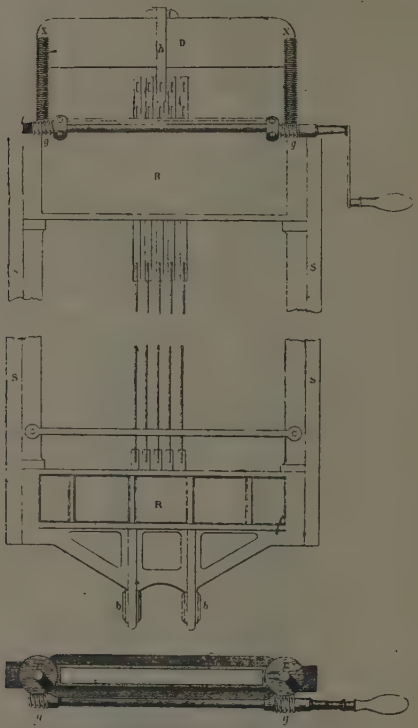


Kuva 16. TOPHAM'in ankeli.

Kuva 16 esittää ankelin, joka voi olla vielä tänä päivänä käytännössä. Se on n.k. TOPHAM'in kiila-ankeli. Jännitys tapahtuu siinä kiilan k ja vastakiilan r avulla. Sahanterä kiinnitetään sisääntyönnettävän listakkeen h avulla osaan b.

Ne muodot, jotka yllä ovat esitetyt, ovat kehittyneimmät niistä monista, joita sahanterien kiinnittämiseen on käytetty. Niille useille oli yhteistä se, että terät ovat kiinnitetyt itse ankkuripalkkiin ja, että

terien jännittäminen on tapahtunut kutakin yksityistä terää jännittämällä. Ainutlaatuinen on M. J. BRUNEL'in, jota siis ei ole sekoitettava ISAMBARD BRUNEL'in ja 1800-luvun alkupuolella laatima patentin saanut sahanterien kiinnittämis- ja jännityslaitos (kuva 17), jossa terät hyllä kulkevat ankkuripalkin R lävitse, mutta eivät ole siihen kiinnitetyt.



Kuva 17. M. J. BRUNEL'in sahanterien kiinnittämis- ja jännityslaitos.

Sitävastoin ne ovat tavalliseen tapaan kiinnitetyt alempaan ankkuripalkkiin R_1. Terien jännitys tapahtuu siten, että ruuvien X avulla kohotetaan ylempää palkkia D, joka on ankkuripalkin suuntainen. Tällainen jännitys on kuitenkin osottautunut käytännössä mahdottomaksi siitä syystä, että se edellytti kunkin terän jännitystarpeen yhtä suureksi. Sen vuoksi korjattiinkin laite siten, että terät kiinnitettiin ankeleilla

myös ylempään ankkuripalkkiin, jolloin ankelit kulkivat sen läpi. Tämä tapahtui kiilaamalla. Tämän jälkeen voitiin kutakin sahanterää korottaa erikseen, kuten kuva osottaa ylempää laitetta kohottamalla, jonka jälkeen kiila työnnettiin tarpeelliseen syvyyteen. Tällä laitteella oli muka se etu, että kiila voitiin asettaa tarkemmin kuin vasaralla lyödessä. Kone ei kuitenkaan menestynyt käytännössä, sillä itse asiassa osottautui kuitenkin helpommaksi järjestää jännitys vasaralla ja kiilalla, senvuoksi että pienikin lyönti vaikuttaa kiilaan, kun sillä vain on sopiva muoto.

Ankeli yksinään ei kuitenkaan riitä pitämään sahanterää siinä asemassa, missä sen sahattaessa tulee olla. Ensinnäkin on pidettävä terät koko sahauksen ajan määrättyjen matkojen päässä toisistaan ja toiseksi tulee täten asetettujen sahanterien olla kiinnitetyt toisiinsa ja kolmanneksi eivät sahanterät tai oikeastaan täten toisiinsa kiinnitettyjen sahanterien muodostama pinkka saa liikkua ankkuripalkin suuntaan. Tämä saavutetaan ensinnäkin asettamalla sahanterien väliin *nastat*, jotka ovat samanlevyiset kuin sahattava lautatavara kuivumisen vara siihen luettuna. Toinen ja kolmas vaatimus saavutetaan puristamalla sahanterät toisiinsa kiinni *korvallisruuveilla*, jotka työntävät niitä aisasta raamin keskustaa kohti.

Tämä menettelytapa, joka vielä nykyäänkin on käytännössä, on hyvin vanha ja Exner'in mukaan Englannista kotoisin.

Kokeita mukavasti muuttaa terien asemaa, niitä raamista irroittamatta, ei suinkaan ole puuttunut. Ranskalainen Armengaud mainitsee m.m. erään Manneville'n 1830-luvulla keksineen saharaamin, jossa teriä täten voitiin siirtää, mutta, valitettavasti kyllä, ei asiaa ole sen lähemmin selitetty, ain. mainittu, että terät olivat kiinnitetyt sisäkkäin oleviin putkiin.

C. Raamin liikkeellepanolaitteet.

Kuinka ensimmäisissä saharaameissa raami pantiin liikkeelle, selviää Sarvilahden sahaa koskevasta selostuksesta. Kävisi liian pitkäksi seurata tämäntapaisia kehittymättömiä laitteita, semminkin kuin ne itse asiassa sangen pienessä määrässä eroavat toisistaan. Seuraavassa on senvuoksi käsitelty ainoastaan muutamia sellaisia laitteita tällä alalla, joilla on ollut mainittavampi käytännöllinen merkitys tai jotka erikoisuutensa vuoksi ansaitsevat huomiota.

Viimemainituista on erikoislaatuinen Sturm'in ehdotus, että raami pantaisiin käyntiin suorastaan kammin avulla. Tämä ehdotus ei ole

johtanut käytännöllisiin tuloksiin, jotavastoin saharaameja on usein käytetty suorastaan höyrykoneen männänvarren avulla.

Tähän ryhmään kuuluu myös PHILIPPE'n saharaami, joka on syntynyt *Societe d'encouragement*'in asettaman kilpailun kilpailevana luonnoksena. Se asetettiin käyntiin siten, että raamin ylimmäiseen ankkuripalkkiin oli kiinnitetty vipuvarsi, jonka liike oli ylös ja alas ja joka taas sai liikkeensä sitä ylempänä olevasta voimakoneen akselista.

Edelliseen ryhmään kuuluvat taas nykyään käytännössä olevat muodot, joista mainittakoon m.m. seuraavat mahdollisuudet:

1) Kiertokankia on 2 ja niiden vaikutuspisteet ovat raamin ylä-osassa. (Esim. TOPHAM'in saharaami).

2) Kiertokankia on 2 ja niiden vaikutuspisteet ovat raamin keski-osassa. (Esim. CHATTAMin saharaami).

3) Kiertokankia on 2 ja niiden vaikutuspisteet ovat raamin ala-osassa

4) Kiertokankia on 1 ja sen vaikutuspiste on raamin ankkuripalkin keskikohdan tienoilla raamin yläosassa (KUBANK'in saharaami).

5) Kiertokankia on 1 ja sen vaikutuspiste on raamin sivulla ylimmän ankkuripalkin pään tienoissa (useat vaakasuorat tai hieman vinot raamit).

6) kiertokankia on 1 ja sen vaikutuspiste on raamin keski-osissa sen toisella sivulla. (Tämä on tavallista vanhoissa kaksoisraameissa, esim. RANSOME'n kaksoisraami.)

7) kiertokankia on yksi ja sen vaikutuspiste on raamin alimmaisen ankkuripalkin keskiosan alapuolella.

On selvää, että itse raamin rakenteesta ja rakennusaineesta riippuu suuressa määrin, mitä tapaa kulloinkin on edullisinta käyttää. Silloin kuin konerakennustaito ei vielä ollut kehittynyt ja kun ei voitu valmistaa tarpeeksi vahvoja kiertokankia, kävi usein välttämättömäksi käyttää kahta kiertokankea, vaikka yhden käyttäminen olisi ollut toivottavaa. Samoin oltiin myös usein pakotetut käyttämään liika lyhyitä kiertokankia sen vuoksi, että tarpeeksi pitkät kiertokanget osottautuivat liian heikoiksi.

Kiertokankilaakerit ja niiden osien vahvistaminen, joissa kiertokanki kohtasi välillisesti tai välittömästi tappinsa, ovat myös olleet monien kokeilujen alaisia. 1860-luvulla käytti SNYDER BROTHERS Ltd kiertokangessa puulaakeria, kuitenkaan saavuttamatta menestystä. Mainittakoon, että LIPPMAN 1915 tienoissa on onnistunut menestyksellä ratkaisemaan tämän tehtävän.

Kun luodaan lyhyt silmäys siihen kehitykseen, joka tällä alalla on ollut havaittavissa, niin voidaan loppupäätelmänä sanoa, että saha-

raamin liikkeen aikaansaamiseksi käytetyt koneistot ovat jo sangen aikaisin saavuttaneet muotoja, jotka sangen vähän eroavat nykyisistä ja että pääasiallisesti tällä niinkuin niin monella muulla alalla kyllin suuren lujuuden saavuttaminen on käynyt pääasiaksi: Kun saharaamin iskulukua lisättiin n. 100:sta n. 250:een jopa 350:een, niin ymmärtää, että sitä liikuttavan kiertokangen täytyi muodostua vastaavassa määrässä lujemmaksi.

D. Sahattavan puun kiinnittämistä varten tarpeelliset laitteet.

Vanhemmissa sahoissa käytettiin n.k. kelkkaa, jollainen esim. oli jo Sarvilahden sahassa. Se oli kaavamaisesti katsoen pitkä, suorakaiteen muotoinen kehys, jolla tukki lepäsi; kehys kokonaisuudessaan siirtyi eteenpäin kuljettaen tukin raamin läpi. Tukin kiinnittämiseksi käytettiin monenlaisia laitteita. Tavallisesti oli kelkan toisessa päässä kiinteä vasta-osa, jossa esim. oli tukkiin tunkeutuvat piikit, jotavastoin tukin toinen pää vastasi liikkuvaan osaan, jota voitiin siirtää kehyksellä tukin pituuden mukaan ja joka voitiin kiinnittää sopivaan kohtaan kehyksellä. Senkautta, että liikkuvaa osa voitiin siirtää molemmille sivuille, kävi sitäpaitsi mahdolliseksi liikuttaa tukkia kummallekin puolen samassa tasossa.

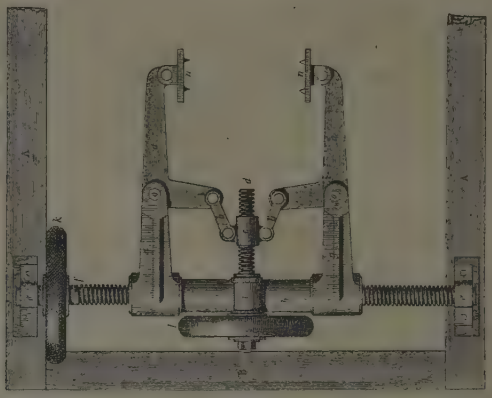
Tämäntapaisen tukinkuljetuskelkan joka on kotoisin Saksasta, on Exner kuvannut. Se on tullut käytäntöön 1830-luvun tiedoissa.

Myöhemmin kehittyivät kelkat m.m. siinä suhteessa, että puut kiinnitettiin niihin puristavien sakaroiden avulla, ja että kiinnityslaitteet tekivät myös jossain määrin mahdolliseksi puun kääntämisen.

Kelkka-laitteella on etuna se, että puu voitiin siihen vakavasti kiinnittää ja että puun suunta voitiin koko sahauksen ajan säilyttää samana, joten sahausrako saatiin suoraksi. Sen suurin vika taas oli suuri paino. Puut ovat raskaita ja tällaista suurta painoa kannattaakseen täytyi laitos tehdä lujaksi, jolloin sen paino luonnollisesti kävi sangen suureksi. Kelkan kuljetuksessa meni paljon käyttövoimaa hukkaan ja se onkin ehkä pääsyy, minkä vuoksi kelkka on joutunut pois käytännöstä.

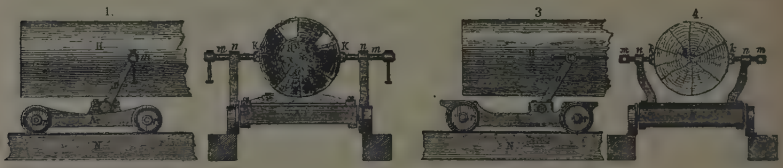
Kelkka oli samalla syöttölaite ja tukinkiinnityslaite. Ennenkuin kelkan sijaan voitiin ajatella sopivampia tukinkiinnityslaitteita, täytyi keksiä sellainen syöttölaite, joka oli kokonaan erillään tukinkiinnityslaitteesta. Tästä syystä tulevat nykyaikaisia muistuttavat tukinkiinnityslaitteet käytäntöön vasta 1700-luvun lopulla ja todennäköisesti ovat Brunel ja Maudslay niiden keksijät.

Tätä ennen oli jo kuitenkin kehitetty sangen onnistuneita tukinkiinnittämistapoja, joista mainittakoon sentapainen pihti, jota nykyäänkin tukki-



Kuva 18. MOREL'in pihti.

vaunuissa käytetään. Se on ranskalaisen MOREL'in keksimä ja käytettiin sitä tavallisessa kelkkasiirtolaitteessa *). Sen rakenne ja muoto selviävät kuvasta 18. Kelkkakiinnitys oli kuitenkin käytännössä vielä senkin jälkeen kuin syöttövalssit olivat keksityt. Vasta RANSOME 1830-luvulla ymmärsi laittaa kiskotien ja kaksi tukkivaunua ja olivat aluksi sekä etuettä takavaunu samanlaiset. Voidaan tavallaan sanoa, että kelkkasuorakaiteen pitemmät sivut siis lopuksi korvattiin kiskoilla ja molemmat vasta-osat, joihin tukin päät kiinnitettiin, vaunuilla.



Kuva 19. RANSOME'n vaunut.

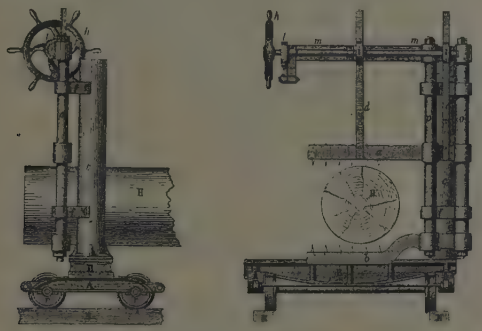
Tämä RANSOME'n vaunu näkyy kuvassa 19. Sen mainitsemme tässä yhteydessä suurella mielihyvällä senkin vuoksi, että RANSOME-suku on saanut aikaan paljon puujalostuskoneiden alalla. Tämän suvun omistama liike on valmistanut mainioita puunjalostuskoneita ja STAFFORD RANSOME, eräs tämän suvun jäsen, on pari vuotta sitten julkaissut sangen arvokkaan teoksen puunjalostuskoneista.

*) Tähän tarkoitukseen nim.

Ransome'n vaunu sellaisenaan oli sangen alkuperäinen, sillä tukin liikuttaminen siinä oli hankalampi kuin monissa sitä ennen kehitetyissä kelkkalaitteissa.

Kun näin oli saavutettu nykyisen muodon ääriviivat, alkoi pian kehittyä vaunuja, joissa tukin liikutteleminen nykyiseen tapaan oli mahdollista. On tarpeetonta esittää useampia renkaita tässä kehitysketjussa, voidaan tyytyä ainoastaan kahteen.

Kuva 20 on amerikalainen tukkivaunu Snyder Brothers Ltd:n Pensylvaniasta U.S.A. tekoa. Se on jo laitos joka on melkeinpä nykyistä muistuttavalla tasolla. Joitakin kömpelyyksiä siinä tosin vielä löytyy, esim. tukin kiinnittämiseen käytettävät piikit, jotka luonnollisesti vahingoittivat pintalautoja enemmän kuin nykyisessä puuta säästävässä sahauksessa voidaan sallia.



Kuva 20. Snyder Brothers'in vaunut.

Nykyisissä tukkivaunuissa voidaan tukki, kuten tiedetään, kiinnittää yhdellä ainoalla otteella. Se voidaan senjälken ennenkuin se sahaan tulee kääntää kokonaan ympäri, joten puulle voidaan antaa, esim. mutkaan nähden, sahattaessa edullisin asema. Snyder Brothers'in vaunussa tarvittiin tukin kiinnittämiseen kahdeksan pitkä-aikaista liikettä ja sen kääntäminen on mahdollinen korkeintaan $^1/_4$ kierrokseen. Tähän aikaan löytyi kyllä vaunuja, joissa tukki voitiin kääntää $^1/_2$ kierrosta, mutta ne olivat taas monessa muussa suhteessa hankalampia kuin Snyder Brothers'in vaunu.

Tukin kiinnityslaitteilla on yleensä paljon suurempi merkitys sahaustulokseen kuin ensi silmäyksellä näyttää. Yleensä voidaan sanoa, että tätä seikkaa ei vielä 1850-luvuin tienoilla eikä useita vuosikymmeniä myöhemminkään käsitetty. Kehitetiin kehän liikutuskoneistoa, kehitet-

tiin syöttölaitteita j.n.e., mutta ei tultu ajatelleeksi sitä, kuinka paljon aikaa hukattiin epätarkoituksenmukaisten vaunumuotojen vuoksi. Kun tukin kiinnittäminen vaunuun, sen oikean aseman valitseminen y.m. toimenpiteet, jotka ovat suoritettavat siitä hetkestä kuin tukki on vaunuun pudonut siihen hetkeen kuin sahanterät sitä alkavat sahata, ennen aikaan vaati minuutin, jopa useitakin, tapahtuu se nykyisen tukkivaunun avulla ainoastaan muutamissa sekunneissa, puhumattakaan siitä, että ennen tarvittiin useita miehiä, nyt ainoastaan yksi.

E. Syöttölaitteet.

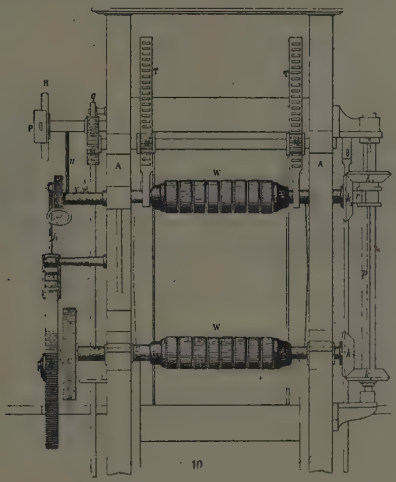
1) Vanhemmissa saharaameissa tapahtui syöttö siten, että tukki siirtyi eteenpäin silloin kuin saha siirtyi ylös. Sahan siirtyessä alas ja leikatessa oli puu paikallaan. 2) Sitä seuraava kehitysaste oli, että puu liikkuu terää vasten sahan leikatessa alaspäin, jotavastoin puu on paikallaan silloin kuin terä nousee ylös. 3) Kaikkein viimeiseksi ryhdyttiin kokeilemaan jatkuvalla syötöllä, jossa tukki siis siirtyy eteenpäin raamin liikkeestä riippumatta.

1) Tähän ryhmään kuuluvat kaikki vanhemmat vesisahat ja täydellisimmän muotonsa ne ovat saavuttaneet n.k. venetsialaisessa vesisahassa, jolle oli ominaista, että tukkivaunun siirtäminen tapahtui hihnan avulla ja että raamin ja vaunun liikkeet olivat välittömästi yhdistetyt toisiinsa, että vaunu liikkui eteenpäin raamin ylösnoustessa ja että syötön pituutta ei voitu järjestää.

2) Kun edellisestä ryhmästä on siirryttävä tähän ryhmään, niin tullaan, kummallista kyllä pulaan siinä suhteessa, että ei voida löytää mitään sopivaa välimuotoa, jonka kautta siirtyminen edellisestä ryhmästä jälkimmäiseen on selitettävissä. Voisi mahdollisesti ajatella, että PHILIPPE'n raami olisi tämä »Darvinismin puuttuva välirengas», mutta niin ei, ikävä kyllä, ole asianlaita, syystä että jo ennen sitä oli olemassa MAUDSLAY'n chattam'-laisissa sahoissa 1800-luvun alkuvuosikymmeninä rakentama saharaami, jossa tämä syöttötapa oli otettu käytäntöön. Mahdollistahan voi olla, että PHILIPPEN saharaami ei olisi ollut itsenäinen vaan joku vanhempi Englannista hävinnyt muoto, mutta ainakaan ei siellä sellaista tunneta, vaikka patenttiselityksiä sahauskoneista on olemassa yllin kyllin, joten ehkä sittenkin voidaan pitää oikeana BARLOW'in teoksessaan *A Treatise on the Manufactures and Machinery of Great Britain* esittämää otaksumaa, että tähän syöttötapaan käytetyt laitteet olisivat kotoisin jostakin muusta koneesta, josta ne sitten sovitettiin sahauskoneisiin. Tämän otaksuman puolesta puhuu juuri se seikka, että 1800-

luvun alku ja 1700-luvun loppu olivat suurenmoista keksintöjen aikaa, jolloin kaikilla aloilla mietittiin uusia koneita. Keksintöjen historia toteaa muuten lukemattomissa tapauksissa, että koneita on käytetty tarkoituksiin, joista niiden keksijällä ei ole ollut aavistustakaan tai yhdistetty toisiinsa koneita, joita on aiottu käytettäväksi aivan eri tarkoituksiin.

Yllä mainittua MAUDSLAY'n saharaamia esittää kuvamme 21. Sen koneisto on, kuten helposti huomaa, siten järjestetty, että tukki siirtyy eteenpäin sahanterän liikkuessa alaspäin. Syöttö on siis keskeytyvä.



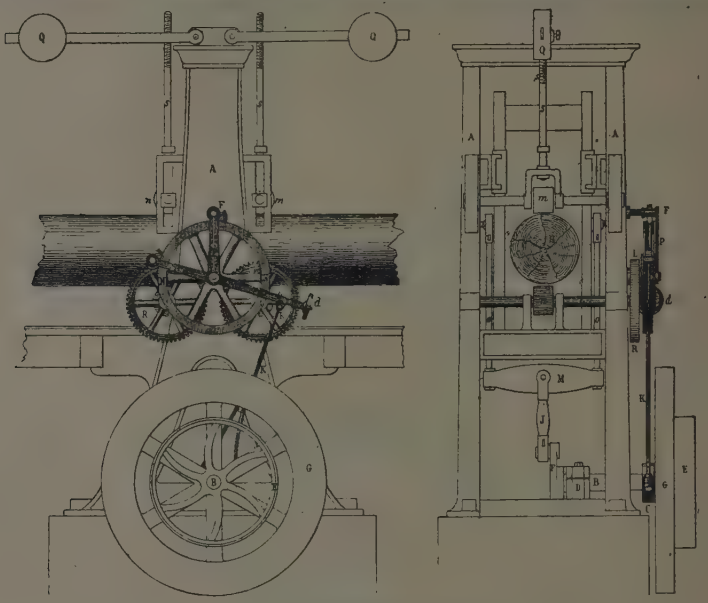
Kuva 21. MAUDSLAY'n raami.

Syöttöliike ja raamin liike ovat suoranaisessa yhteydessä toistensa kanssa. Raamin liike aiheuttaa myös samalla tukkikelkan liikkeen, joten tässä sahassa ei vielä ole käytetty tukkivaunua, vaikka sen käyttö olisi siinä ollut täysin mahdollinen ja vaikka tätä raamimuotoa on juuri pidettävä sinä raamimuotona, joka antoi, niin sanoaksemme, viittauksen sellaisen tukkivaunun keksimiseen, joka liikkui kiskotiellä.

Raamia tarkastaessa on pantava huomioon sen syöttövalssien muoto. Ne ovat nim. sangen suuressa määrin samanlaiset kuin vastaavat laitteet BOLINDER'in 1900-luvun alkupuolella konstruoimassa n.k. *standard*-raamissa. Myöskin ylävalssi on uurrettu, vaikka se oli ainoastaan painovalssi. Tämä seikka oli erehdys, sillä täten sahaus tuli hankalammaksi.

MAUDSLAY'n kehäsaha on muuten hyvin samantapainen kuin BENTHAM'in ja BRUNEL'in samoihin aikoihin suunnittelema. Siinä käytetty syöttökoneisto tuli siksi alkumuodoksi, josta Englannissa 1800-luvun alkupuolella kehittyivät kuuluisiksi tulleet englantilaiset saharaamit, joita vieläkin on käytännössä.

Sileän painovalssin käyttäminen on WORSSAM'in keksintöä. Hänen raamisahassaan eivät valsit kuitenkaan olleet yhtä pitkät kuin raami oli



Kuva 22. WORSSAM'in raami.

leveä, vaan paremmin voitaisiin niitä sanoa kapeiksi rulliksi. Alimmainen rulla on hammastettu, joten se työntää puuta eteenpäin. Tukki taas on kiinnitetty tukkivaunuihin, jotka liikkuivat tukin liikkeen perusteella. Raami muistuttaa siis, valssien muotoa lukuunottamatta, niitä raameja, jotka olivat käytännössä 1800-luvun loppupuolella.

Raami näkyy kuvassa 22. Siitä selviää m.m., että valsseja on kaikkiaan 4 kpl., siis 2 sekä raamin etu- että takapuolella. Raamin toiminta selviää helposti kuvan perusteella. Uurretut valssit (n) ovat kiinnitetyt kumpikin akseliin i, jonka päässä raamin toisella sivulla on hammasratas R. Näi-

hin kahteen hammasrattaaseen vastaa pieni hammasratas, joka on hakarattaan N akselin o keskipisteessä. Kiertokanki K panee liikkeelle vipuvarren a b ja tämä vipuvarren liike antaa hakarattaalle N nykäisevän liikkeen. Tämä liike voidaan järjestää ruuvipyörän d avulla siten, että vipuvarren b:n puolisen osan lyhetessä pyörän pyörähdys pienenee ja pidetessä suurenee. F taas on jarru, joka estää pyörää liikkeen jälkeen painumasta takaisin. Vipuvarren ab:n liikkeestä tulee siis koko syöttöliike riippumaan ja sen b:n puolisen osan pituudesta syötön pituus, siten, että, mitä pitempi b:n puoleina osa on, sitä pitempi on myöskin syöttö.

Samuel Worssam'in raami on hyvin yksinkertainen. Sen suurimpana vikana on mainittava pienet syöttörullat, jotka esim. mutkaisessa puussa kävivät kokolailla hankaliksi. Mutta itse aate ja koneiston yksinkertaisuus ovat tunnustusta ansaitsevat ja senvuoksi merkitseekin Worssam'in raami muotoa, jonka voi sanoa antaneen aihetta monen täydellisemmän muodon kehittymiselle. Worssam'in syöttötapa on saanut oman nimensä, *Silent-feed-motion* ja on se tavallaan, tietysti mitä suurimmassa määrin kehittyneenä vieläkin käytännössä. Valssivika, josta edellä mainittiin on taas hyvin helposti korjattu.

3) Jatkuvaa syöttöä on yleensä pidetty 1900-luvun keksintönä ja onkin se sitä, jos tarkasti pidetään muodoista kiinni. Mielenkiintoista on kuitenkin tietää, että tämäkin seikka on jo 1800-luvun puolivälin tienoilla ollut kokeilun alaisena ja, että jo näihin aikoihin on tosiaankin löytynyt jatkuvalla syötöllä käyviä saharaameja, vaikka ne epätarkoituksenmukaisuutensa vuoksi ovat myöhemmin joutuneet unohduksiin.

Vakasuoraa raamia käytettäessä oli sangen yksinkertaista järjestää jatkuva syöttö siten, että puu asetettiin kelkalle, joka pantiin liikkeelle hihnan ja hihnapyörien välityksellä, jolloin luonollisesti nopeus voitiin järjestää käyttämällä eri suuria pyöriä samaan tapaan kuin höyläkoneessa nykyään, jotavastoin taas toinen hihna pani liikkeelle raamin hihnapyörän.

Tällainen keksintö ei kuitenkaan täytä sitä ehtoa, jonka olemme tottuneet jatkuvalle syötölle asettamaan, nim., että myöskin tukin siirtymisen tulee tapahtua itse raamilla olevan koneiston kautta.

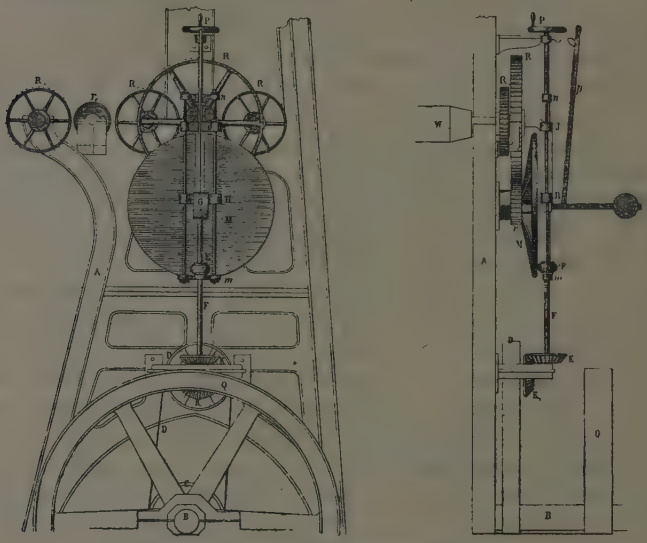
Suunnilleen samaa on sanottava Werner'in 1846 käyttämästä jatkuvasta syötöstä. Siinä oli myös kelkan avulla järjestetty syöttö ja itse saharaami siis toimi syöttämättä. Uutta oli keksinnössä se, että siinä hammastankojen liikkeet muutettiin jatkuviksi hankauspyörän avulla.

Sitävastoin on Snyder Brothers'in jatkuvalla syötöllä varustettu raami siinä määrin nykyisiä muistuttava, että ilman muuta voidaan

sanoa, että *jatkuva syöttö on amerikalainen keksintö*, joka on tehty jo 1850-luvulla.

Tämä merkillinen kone, on siksi mielenkiintoinen, että on täysi syy se tässä perinpohjaisesti selittää. Sitä esittää kuva 23.

B on pääakseli. Sille on kiinnitetty hihnapyörä C, joka panee liikkeelle hihnapyörän D. Tälle on samakeskeisesti kiinnitetty koonillinen hammaspyörä K_1, jonka hampaat vastaavat koonilliseen hammaspyörään K, joka on vaakasuorassa asennossa. Tämän hammasrattaan pyörivä liike joh-



Kuva 23. SNYDER BROTHERS'in raami.

tuu pystysuoraan akseliin F. Tälle on kiinnitetty nahkainen rengas E, joka voi liikkua ylös ja alas. E lepää levyn m päällä, joka on samalla suorakaiteenmuotoisen kehyksen m:n alasivuna. Tämä kehyksen molemmat pituussivut ovat lieriönmuotoisia valurautaisia tankoja, jotka kulkevat vaakasuoran palkin I läpi. M taas on valurautainen pyörä, jonka ulkopinta (se, joka on kuvassa ulospäin) on tasainen. Jos E pyörii ympäri ja hankaa levyä M, niin saa se sen liikkeelle. Liike pääakselista johtuu, kuten jo ylläolevasta on selvinnyt nim. osien D, K, K_1, F ja E kautta. M:n liikkeen kautta joutuu liikkeelle sen akseli ja sillä oleva hammarratas r, sen välityksellä R ja edelleen hammasrattaan r_1 välityksellä kolme

R_1:lla merkittyä hammasratasta. Kunkin pyörän R_1 akselille taas on kiinnitetty uurretut valssit W.

Edelleen on huomattava, että E:n sijaitessa pyörän M ulko-osalla saadaan määrätty nopeus puun syötölle, jota voidaan lisätä sitä suuremmaksi, mitä lähemmäksi pyörän M keskipistettä E siirtyy. E:n siirtäminen taas tapahtuu pyörän avulla.

Kuten edelläolevasta näkyy, ei siis jatkuva syöttö saharaamissa ole uusi edes sanan nykyisessä merkityksessä. Kun verrataan Snyder Brothers'in jatkuva syöttöä esim. siihen jatkuvaa syöttöön, joka on käytännössä Bolinder'in *standard*-raamissa, niin täytyy sanoa, että edellä mainittu raami on ehdottomasti ollut alkumuoto edellisestä. Tällä ei suinkaan tahdota väittää, että Bolinder'in raamin keksijä olisi tuntenut Snyder-Brothers'in raamia. Asianlaita voi olla tässäkin yksinkertaisesti se, että pystysuora akseli siihen yhdistettyine hankauspyörineen voi olla kotoisin jostain muusta koneesta, joka on jo Snyder'in aikoina ollut kehittymättömässä muodossa käytännössä. Monet tekniilliset pikkuseikat, joiden yksityiskohtainen selittäminen tässä yhteydessä kävisi liika pitkäksi, ovat aiheuttaneet sen, että tämä raami, jonka aate oli sangen nerokas, joutui pois käytännöstä. Tärkein syy oli se, että raamin iskuluku oli tähän aikaan vielä siksi pieni, että oikeastaan ei tämäntapaista jatkuvaa syöttöä tarvittu. Sen kautta ei saavutettu sen suurempia sahaustuloksia kuin vanhempienkaan, jotavastoin esim. raami oli kalliimpi ja vaikeampi hoitaa. Muita syitä ei luonnollisesti tarvittukaan, sillä uusi konehan syrjäyttää pysyväisesti vanhan ainoastaan etevämmyytensä perusteella.

III. Sahan ja saharaamin kehitykseen vaikuttavista seikoista sekä loppumietteitä.

Edellä on alettu yksinkertaisimmasta sahauskoneesta, käsisahasta. On todettu, että se on saanut alkunsa luonnossa löytyneestä esineestä. Käsisahan eri muotoihin, sen hammastuksen, hammasmuodon j.n.e. kehitykseen sekä syihin, mistä eri käsisahamuodot ovat saaneet alkunsa, ei ole puututtu, syystä, että sen kautta tutkimus olisi saanut aivan liika suuren laajuuden ja syystä, että aineiston hankkiminen tälläista tutkimusta varten olisi tuottanut aivan liika suuria vaikeuksia. Edelleen ei ole voitu saada selville koneellisen sahan alkuperäisintä muotoa eikä siis sen kotipaikkaa. Ne koneellisen sahan muodot, jotka edellä on alkumuotoina esitetty, ovat siksi monimutkaisia, että niiden ja käsisahan välillä on välttämättömästi täytynyt löytyä monivälimuotoinen kehitys, joka on tutkimisen arvoinen ja, josta esim. kehittymättömien kansojen keskuudessa tehdyn tutkimusmatkan kautta voisi saada selvää. Selvyyttä voisi luonnollisesti antaa myös vanhan kirjallisuuden tutkiminen.

Sen jälkeen kuin niihin koneellisen sahan alkumuotoihin on päästy, joita esiintyi 1300-luvulla, alkaa koneellisen sahan kehityksen seuraaminen käydä verrattain helpoksi, johon seikkaan vaikuttaa se, että sahoista alkaa löytyä yksityiskohtaisia selvityksiä ja osaksi sekin, että tällaisia, meidän nykyiseltä kehityskannaltamme sangen alkuperäisiä muotoja on säilynyt meidän päiviimme asti (esim. Sarvilahden saha).

Mitä laajemmalle koneelliset sahat leviävät, sitä moninaisempia muotoja ne saavat. Syntyy muotoja, jotka ovat riippuvaisia esim. käytettävän voiman laadusta, koskien erilaisesta putouskorkeudesta, sahattavien puiden lajista, mitoista, puun kovuussuhteista j.n.e. Syntyy paikallisia muotoja, jotka ovat kunkin paikkakunnan olosuhteissa sopivimmat. Hyvin paljon vaikuttaa tällaisiin paikkakunnallisiin muotoihin se, minkälaista raaka-ainetta kulloinkin on sahauskoneiden valmistamiseen käytettävissä. Siellä esim., missä ei rautaa ole käytettävissä, kehittyy muotoja, joissa sitä mahdollisimman vähän käytetään, rauta-alueilla taas teh-

dään enimmän lujuutta vaativia osia paljon suuremmassa määrin tästä metallista.

Tämän jälkeen taas seuraa uusi kehitysjakso. Paikkakunnallisia muotoja aletaan vertailla, ja siitä johtuu eri osien yhdistely. Tarkoituksenmukaisimpia osia eri koneista aletaan yhdistellä ja muutella ja täten saadaan aikaan kokonaan uusia koneita.

Seuraava kehitysaste on määrättyjen kehityskeskusten syntyminen. Jo luonnollisesti tätä ennenkin on ollut seutuja, joissa koneellinen sahaus on ollut enemmän kehittynyt kuin muualla, mutta kehityskeskuksen syntymisellä tarkoitetaan tässä sellaisten keskusten syntymistä, joissa sahauskoneita aletaan määrätietoisesti kehittää. Tällaisiksi keskuksiksi muodostuvat ne paikat, joista puutavaraa hyvin voidaan kuljettaa tai joissa sitä suuressa määriin tarvitaan tai ne paikat, joissa nämä molemmat edellytykset ovat olemassa. Niinpä onkin sahauskoneiden kehitys Europassa sijoittunut aluksi pääasiallisesti Hollantiin ja Englantiin sekä Saksan hyvillä liikepaikoilla oleviin metsäisiin vuoristo-seutuihin.

Kun sillä tapaa, kuten edellisessä on tehty, koetetaan esittää sahauskoneiden »kehitysoppia», niin on tällä pääasiallisimpana tarkoituksena todeta sekä sahauskoneisiin yleensä että niiden erikoisiin tärkeimpiin perusosiin nähden ne perusmuodot, joita yhdistelemällä tai kehittämällä nykyään käytännössä olevat sahauskoneet ovat syntyneet. Tällainen perusmuotojen tunteminen on erittäin tärkeä, sillä vasta niiden pohjalla käy myös mahdolliseksi uusien koneiden suunnitteleminen. Jos ajatellaan esim., että keskeytyvää syöttöä merkitään kirjaimella A ja sellaista keskeytyvää syöttöä, jossa liike eteenpäin tapahtuu sahan noustessa ylöspäin, kirjaimella a ja sellaista keskeytyvää syöttöä, jossa liike eteenpäin tapahtuu raamin siirtyessä alaspäin kirjaimella b, niin voitaisiin noille molemmille syötöille antaa merkit Aa ja Ab. Jos vielä jatkuvaa syöttöä merkitään B:llä, niin on meillä kolme merkintää Aa, Ab ja B, joiden perusteella tunnemme raamin ominaisuudet. Jos samantapaista merkintää käytetään raamin kaikille osille, niin voidaan raami karakterisoida lyhyesti kirjaimilla. Tällainen kirjainsarja esim. 3:sta raamista antaa lukemattomia kombinatio-mahdollisuuksia, mutta ainoastaan rajoitettu määrä niistä sopii käytäntöön. Kukin tällainen käytäntöön sopiva malli kutsutaan *raaamityypiksi* ja tällaisista tyypeistä voidaan lopuksi valita *standardityypit* eli ne tyypit, joita esim. kannattaa tehdasmaisesti valmistaa, sillä ne ovat tyyppejä, joilla on varma kysyntä.

Seuraavana asteena kehityksessä voidaankin mainita juuri tällaisten *standardityyppien* syntyminen. Hyvin tärkeänä tekijänä tällaisten *stan-*

dardityyppien syntymiseen on se, kuinka helposti valmistetut koneet menevät kaupaksi, ja senvuoksi tullaankin vähitellen ja voidaanpa sanoa 1850-luvun loppupuolella, siihen ajankohtaan, jolloin juuri kaupalliset seikat alkovat määrätä, mitä raamimuotoja on käytännössä. Tästä seikasta ovat hyvin hyvänä esimerkkinä Saksa ja Englanti. Englannissa oli raameja, joiden teho oli ehkä 3-kertainen Saksassa käytettyihin verraten, mutta niitä siirtyi Saksaan ainoastaan mitätön määrä sen vuoksi, että ne olivat kalliimmat hinnaltaan, jotapaitsi kuljetus, asiantuntevan monttöörin tuottaminen ehkä Englannista asti y. m., vielä edelleen lisäsivät hintaa.

Kaupalliset näkökohdat vaikuttavat vielä toisellakin tavalla koneisiin yleensä ja siis myös sahauskoneisiin. Siellä, missä pääomia on vähän ja korkokanta on korkea, täytyy käyttää koneita kau'an. Tämä merkitsee osaksi sitä, ettei voida ottaa käytäntöön aina uusinta muotoa, joten on valmistettava tai hankittava koneita, jotka kestävät kau'an ja mahdollisuuden mukaan tyydyttävät kohtuulliset vaatimukset. Siellä taas, missä pääomia on runsaasti ja korkokanta on alhainen, käytetään koneita vähän aikaa, ne uudistetaan niin pian kuin vain tarkoituksenmukaisempi muoto ilmestyy. Tässä tapauksessa ei luonnollisesti koneita tarvitse valmistaa niin lujiksi ja kestäviksi kuin edellisessä tapauksessa. Selvää on myös, että konemallit tulevat tämän mukaan saamaan omat muotonsa kummassakin edellämainitussa tapauksessa.

Senjälkeen kuin, etupäässä 1850-luvun alusta alkaen, kaupalliset näkökohdat alkoivat vaikuttaa sahauskoneiden kehitykseen, alkoi syntyä konemuotoja, jotka tehtiin markkinatavaraksi ja tällaista markkinatavaraa alkoi ilmestyä Amerikaan ja Saksaan.

Englannissa sitävastoin tällä niinkuin muillakin aloilla säilytettiin vanhoilliset muodot ja tästä syystä Englannissa alkoi kehittyä sellaisia koneita, jotka olivat valmistetut pitkä-aikaista käyttöä varten. Englantilaiset saharaamit tulivat tunnetuiksi lujuudestan ja on meillä esim. vielä käytännössä 1860-luvulla valmistettuja saharaameja.

1850—60-luvun viimeinen kehitysvaihe oli erikoissaharaamimallien valmistaminen. Niimpä ryhdyttiin kokeilemaan saharaameilla, joilla voitaisiin sopivasti halkaista jo ennen sahattua järeämpää puutavaraa ja näin syntyi erikoinen malli saharaameja esim. puuseppä- ja laatikkoteollisuutta varten, joita on kutsuttu esim. Saksassa nimellä Kantholz-sägen, Schnittholz-sägen. Osaksi huomattiin jo sitäkin erikoistumista, mikä nykyään on täydellisesti saavutettu, nim. erilaisten saharaamien rakentamista suurelle ja pienelle puulle.

* * *

Minkälainen taas itse kehityksen kulku koneiden suhteen on ollut, siitä antanee edellä ollut yksityiskohtainen kuvaus jonkunmoisen käsityksen. Näin laajalla alalla on luonnollisesti täytynyt tyytyä valittuihin perustyyppeihin ja siitä, kuinka onnistuneesti ne on satuttu valitsemaan, riippuu tietysti, miten lähellä todellisuutta niiden kautta saatu kuva on. On kuitenkin mainittava, että tällaiset perusmuodot eivät ole olleet aivan sattuman varassa, sillä niiden arvon voi määrätä sen perusteella, mitä ne ovat vaikuttaneet yleiseen kehitykseen kukin alallansa. Edellä on osotettu, että useissa tapauksissa, joiden luetteleminen tässä yhteydessä on tarpeetonta, on voitu nimenomaan todeta muotoja, jotka silminnähtävästi ovat vaikuttaneet nykyisten, käytännössä olevien muotojen syntymiseen. *Ollaan siis täten todettu erinäisten perustyyppien merkitys tällä alalla.*

* * *

Näihin *perustyyppeihin* olemme myös todenneet kuuluneen muotoja, jotka mitättömän vähän tai tuskin ensinkään ovat olleet käytännössä. Tämä seikka on erittäin tärkeä kaiken koneteollisuuden alalla ja tällä kertaa on tahdottu erikoisesti painostaa sen tärkeyttä sahauskoneteollisuuden alalla. Saksassa, Englannissa, Amerikassa, Ranskassa j.n.e. on otettu lukemattomia patentteja sahauskoneiden alalla. Tällaiset vanhat ja unohduksiin joutuneet keksinnöt voivat sisältää sangen paljon arvokasta ja nykyaikana käytäntöön sopivaa. Se, että joku keksintö ei joudu käytäntöön, ei suinkaan todista sen kelvottomuutta. Ja voidaanpa vielä sanoa, että keksintö, joka jollain hetkellä on mahdoton toteuttaa, voi olla mahdollinen jonakin toisena. Hyvin monen keksinnön toteuttamisen on tehnyt mahdottomaksi esim. se, ettei ole ollut saatavissa tarpeeksi lujaa raaka-ainetta. Tämä esimerkki soveltuu sangen hyvin m.m. Snyder Brothers'in jatkuvalla syötöllä varustettuun raamiin. Moni ennenaikaan tehty keksintö sahauskone-alalla olisi voinut näyttää aivan toiselta, jos olisi ollut käytännössä kuulalaakeri j.n.e. Tästä syystä olisi erittäin tärkeätä, *että sahaus koneiden historiaa ruvettaisiin suunnittelemaan.*

Tällaisen historian laatiminen ei suinkaan ole merkitystä vailla. Se tuottaisi todennäköisesti myöskin käytännöllisiä tuloksia, sillä se voisi vetää esille aatteita ja konstruktioita, joiden toteuttaminen aikoinaan on ollut mahdoton, mutta, joka kenties nykyisillä edellytyksillä käy päinsä: Jos esim. Snyder Brothers'in jatkuvalla syötöllä varustettu saharaami olisi ollut yleisemmin tunnettu, niin ei ole epäilystäkään siitä, että jatkuvalla syötöllä varustetut raamit olisivat tulleet käytäntöön vuosikym-

meniä aikaisemmin kuin mitä on tapahtunut. Jos WERNER'in jatkuvalla syötöllä varustettu kehys olisi ollut aikaisemmin tunnettu, niin olisivat särmäyssirkkelit ja höyläyskoneet mahdollisesti pikemmin saavuttaneet nykyisen tasonsa; ainoastaan muutamia esimerkkejä mainitaksemme.

Toistaiseksi ratkaisematon kysymys raamisahassa on sahanterien poistaminen ja lähentäminen toisistaan ilman, että ne irroitetaan raamista. Jo tältä alalta tehdyt kokeet kannattaisi vetää päivänvaloon, sillä kenties voitaisiin näistäkin jotain hyötyä.

Vannesahan käyttö raamisahan asemasta suurien puiden sahaukseen on ollut päämärä, jota ei vielä ole saavutettu. Voi olla mahdollista, että kokeet ovat epäonnistuneet yksinkertaisesti sen vuoksi, ettei ole osattu valmistaa kyllin hyviä teriä, joten siis tässäkin tapauksessa olisi syytä kaivaa vanhat kokeet esiin.

* * *

Senjälkeen kuin ylläoleva oli kirjoitettu, on faneriteollisuus alkanut huomattavassa määrin laajentua meidän maassamme. Myös tällä alalla on monta ratkaisematonta kysymystä, joista ehkä tärkein meidän oloissamme on faneriksi sorvattavan pölkyn kiinnittäminen siten, että se osa, jota ei voida faneripuuksi sorvata, jää mahdollisimman pieneksi. Myös tällä alalla on olemassa ennen käymätön keksintö, joka perustui siihen, että fanerilevy otettaisiin samaan tapaan kuin lastu otetaan lyijykynästä sitä teroitettaessa. Kuka tietää, eikö tälläkin alalla olisi vanhoja keksintöjä, joita voitaisiin käyttää hyväkseen, kun tunnettaisiin niiden yksityiskohdat ja osattaisiin niitä parantaa.

* * *

Se, mitä yllä on esitetty, antanee jonkunlaisen käsityksen siitä, millaiset seikat ovat vaikuttaneet sahan ja saharaamin kehitykseen. Samalla selvinnee ylläolevasta, että saharaamin ja sen osien eri kehitysasteiden ja tyyppien tutkiminen on puun mekaanisen teknologian kannalta mitä tärkein tehtävä, johon ensi tilassa on käytävä käsiksi. Tutkimusala kokonaisuudessaan on luonnollisesti sangen laaja, mutta sen jakaminen eri osiin ja kunkin erikoiskysymyksen tarkka punnitseminen tehnee mahdolliseksi tällaisen tutkimuksen suorittamisen, varsinkin, jos se tehdään kansainväliseksi.

Olisi siis saatava aikaan kansainvälinen yhteistyö tällä alalla. Tämä on siitäkin syystä toivottavaa, että ainoastaan yhteistyön kautta käy

mahdolliseksi koota se laaja aineisto, joka tällä alalla on olemassa. Kun joku sopiva instituutti on tämän aineiston kerännyt, niin se voisi antaa sen julkaisemisen jonkun komitean tai yksityishenkilön tehtäväksi. Tällöin voitaisiin mahdollisesti muutamassa vuodessa saada valmistetuksi suurjulkaisu, joka aina voisi antaa niille henkilöille, jotka sahauskonealalla työskentelevät, mitä tarkimmat tiedot siitä, mitä kunkin erikoiskysymyksen alalla on aikoinaan saavutettu.

Luettelo käytetystä kirjallisuudesta.

ANDERSON, N., Geschichte des Handels. V.

ARMENGAUD AÎNÈ, *Publication industrielle de machines. III. Paris 1843.*

ARMENGAUD, L., *Génie industriel. Paris 1865.*

BAILEY, W., *The advencement of arts, manufactures and commerce. London 1772.*

BARLOW, A., *A Treatise on the Manufactures and Machinery of Great Britain. (Encyclopaedia Metropolitana XLI).*

BECKMANN, J., Beiträge zur Geschichte der Erfindungen II.

BELIDOR, *Architecture Hydraulique, avec Notes par M Navier. Paris 1819.*

BENTHAM, elämäkerta: *The Life of Brigadier General Sir Samuel Bentham, London 1862.*

BEYER, LEUPOLD, Theatrum machinarum molarium. Leipzig 1735 ss. 114—116.

BLACK, LE, *Recueil des Machines II, 2. 1832.*

BRESLAUN kaupungin historia: Breslau, documentierte Geschichte und Beschreibung. Breslau 1788, II, 2.

BRUNEL, elämäkerta: *Memoir of the Life of Sir Marc Isambard Brunel, London 1862.*

CADAMOSTO, matkakertomus Novus orbis'essa, luku VI.

CRAGIUS, N., Historia regis Christiani III, Hafniae 1737.

DESCRIPTION *of the Saw Mills and Machinery for Raising Timber, Chattam Dock-Yard.* London 1820.

DOSSIE, ROBERT, *Memoirs of agriculture and other oeconomical arts. London 1768.*

EVANS, W., *Young Millwrigt and Millers Guide. Philadelphia 1821.*

EXNER, W. F., Werkzeuge und Maschinen zur Holz-Bearbeitung, der Construction, Behandlung und Leistungsfähigkeit. Weimar 1872.

GERSTNER, Joseph Ritter von, Lehrbuch der Mechanik. II.

GREGORY, L., *Mechanics.* 1807. II.

HASSENFÄRTZ, R., *L'art du Charpentier. Paris 1804.*

HOLTZAPFFEL, CH., *Turning and mechanical manipulation. London 1843—1850.*

KLEMM, J., Werkzeuge und Waffen, Leipzig 1854.

KRÜNITZ, Encyklopädie, Theil 130.

LOOSJES, C., Beiträge zu einer Geschichte der Windmühlen. 1797.

MÄKELÄ, V. T. Sahan ja sahauskoneiden alkukehityksestä (Suomen Paperi- ja Puutavaralehti 1922).

OVIDIUS, P. Ovidii Nasonis Metamorphoseon. Erklärt von Moritz Haupt. Berlin 1878.

PERITSOL, ABRAHAM, Itinera Mundi 1547, (Rühlman'in muk.).

PRODICIUS, HERCULES. Coloniae. 1609. VIII. (Rühlman'in muk.).

RICHARDS, J., *A treatise on the construction and operation of wood working machines by J. Richards. New-York and London, 1872.*

RICHARDS, *Operators handbook. New-York and London, 1873.*
ROMBERG, H., Zeitschrift für praktische Baukunst 1854.
ROSBERG, STRATA A, *Dessius artificiaux de toutes sortes de Moulines. 1617.*
RÜHLMANN, M., Allgemeine Maschinenlehre II. Wien 1865.
SOCIETE *d'encouragement, Bulletin d'encouragement 1832 et 1834. Paris.*
SOCIETY OF ARTS, *London, Bulletin 14 v. 1827.*
STURM, LEONHARD CHRISTOPH, Vollständige Mühlenbaukunst mit 51 nach geometrischen Regeln entworfenen Kupfertafeln deutlich vorgestellt. 6 Auflage. Nürnberg 1819.
WESSELY, I., Die venezianische Brettmühlen der Piavathäler. Oesterr. Vierteljahrschrift für Forstwesen X Band. 1860. ss. 134—146.

Features in the Early Development of Saws and Saw Frames.

SUMMARY.

The author first briefly reviews the mythological stories of the origin of the saw. After presenting the *Attalus* and *Daidalos* fables as examples of what great importance was given the saw as a working tool, and how as early as 500 B.C. the origin of the saw could be derived from some pointed or toothed natural objects — from the jaw-bones of fish or from their spines, or from other such parts of animal bodies — the author then transfers his attention to the ideas of *Plinius*, *Seneca*, and *Ovidius* in the matter, who also confirm the previously mentioned legendary hypothesis.

After this the earliest stories of the kind of saws that savages have used are given. Of these there are mentioned the narration of *Cadamosto* (1432—1511) describing how the natives on the western coast of Africa in the neighborhood of the Gambia River used the sharp-toothed jaw-bones of sharks as saws, and among others also the accout of *Klemm* of the fact that the natives of Marquesas and other islands as late as 1840 still used saws that had been constructed from hard wood into which teeth of sharks had been imbedded, or which had been constructed by joining together sections of sharks' jaw-bones.

In view of these and other facts the author considers it evident that such toothed natural objects as mentioned in the foregoing have been the forerunner of the saw, and in this connection refers to the hypothesis of *Barlow* that a damaged blade instrument may also have been the origin of the saw, especially in such localities where sufficiently strong natural objects were not available.

After this the development of the metal saw considered, of which mainly the following is described. *Exner* and *Mäkelä* mention that the ancient Egyptians already used a real steel saw. From the descriptions

of *Wilkinson* appears that they were acquainted with the ordinary carpenter's saw and the plank-saw. It is noted that later the ancient Greeks were acquainted with the most important forms of modern hand saws, and the excavations of *Herculeum* and *Pompeii* give a good conception of the working tools used by the Romans. The Chinese and Japanese must also be mentioned in speaking of the history of the saw. They also have been acquainted with the saw for many thousands of years, and have developed it into very practical forms. Thus, the Japanese have observed that a saw should have a different kind of toothing, depending on whether it is to be used for cutting along or across the fibre. In addition, the measurements of the teeth are very close to those of the present time, that have proven adaptable.

The use of the sawing machine is demonstrated to have commenced much later, and the earliest one of this kind is mentioned as being described in the travel narrative of *Ausonius* during the fourth century. It was a water-saw, which was used for sawing stone. During the eleventh century there were well-developed saws operated by wind in Holland already, and from this time onward the history of the saw is clearly authenticated in documents. For instance, the saw-mill that existed in Augsburg in 1337 is known, as well as the sawing establishments started at Madeira in 1420, etc. During the sixteenth century sawing machines are common in Germany and Holland, and at this time they spread into many other commercially developed countries of Europe. With regard to Sweden, which at this time was the mother-country of Finland, it was *Juhana III* who, in a way, laid the foundation for the Swedish sawing industry by organizing the first mechanical sawing establishment there. But even before this, hand-sawn lumber had been one of the most important export articles of Sweden, and it is to be noted that the meaning of *Juhana III* in this respect is only indirect, because he needed the products of the saw-mills for building churches and castles. The example of *Juhana III*, however, gave a powerful impetus to the mechanical sawing industry of Sweden, and he directly brought about in certain respects that the construction of water-driven saws was learned in Finland.

In the out-door museum of Seurasaari there is found the Sarvilahti saw-mill, established at Sarvilahti during the seventeenth century, which gives a clear conception of what sawing plants were like at this time.

In this, as well as in other saws of this period, only one blade could be fastened to the frame. The installation of more blades was probably

invented in Holland, and the first saws of this kind were constructed by *Cornelius Cornelisz van Uitgeest* in the fifteen-nineties.

Sawing machines have come to England from Holland. The first wind-driven saw-mill was built near London in 1633, and the first patent »for Erecting Saw Mills to move by Wind and Water» was given to the *Duke of Abermale* in 1687. Sawing machines developed rapidly in England during the eighteenth century. Thus, according to *Bailey*, more than 300 patents were issued in this line during the period 1750—1825. During the latter part of the eighteenth century there then appeared in England *Sir Samuel Bentham* and his assistants, *Isambard Brunel* and *Henry Maudslay*, whose merit in the creation of those mechanical forms that have been the forerunners of machines used in the present sawing industry is greater than that of any others, even to such an extent that they may be called the fathers of modern saw technique.

In France also, much was done along these lines during the eighteenth century, and in this connection *Belidor* and *Duhamel du Monceau* are mentioned.

The different kinds of water-saws reached high perfection in Germany also, and in addition, during the first part of the eighteenth century literature also developed, of which the work of *Sturm*, published in 1819, is mentioned.

The description of the evolution of sawing machines, which follows after this, contains principally a narration of the development of its individual parts, such forms having been taken into consideration that have advanced the development of the sawing machine.

The presentation is divided into the following parts:

A) The frame and its sliding devices.
B) The fastening of the blade into the frame.
C) Appliances for fastening the timber to be sawn.
D) Feeding appliances.

Of the frames, *Sturm*'s, *von Gerstner*'s and *Brunel*'s are described. In *Sturm*'s frame special attention is devoted to the slide-rolls used therein, and in *von Gerstner*'s frame to the sliding parts, made of hardwood, that are used therein; in *Brunel*'s frame, on the other hand, to its well-developed and strong construction.

After this attention is devoted to more developed forms, of which are mentioned among others the frames of *Dubourg*, *Ehman*, *Knowles*,

Paupie, *Nattland*, etc. At the same time the sliding systems are followed as far as the sliding chisel-system of *Teltschik*. Lastly a frame is mentioned that is described by *Exner*, which reminds very much of the present existing ones.

In the presentation of the subject it is established that there formerly has been in use, or that formerly there has been proposed very adaptable forms, the use of which has been discontinued for the reason that the obtaining of suitable raw materials was difficult and expensive, so that many beneficial inventions thus have become discarded for such reasons, and have been completely forgotten or are left awaiting for a more suitable time.

In describing the fastening of blades to the frame several different devices are described, for instance the hangings of *Kankelwitz*, *Boileau*, *Brunel* and others, and after that of the more developed forms those of *Teltschik* and *Topham* the wedge-hangings of the latter-mentioned which is still in use.

The first mentioned hanging, devices had that in common, that the anchor-plank was of one piece, wherefore the hangings in one way or another partly or altogether circumscribed it; and only after the discover of making the anchor-plate from two parallel pieces did the fastening method in use at the present time become possible.

In describing the driving of the frame, attention is given to the quality of the crank-shafts and their effective points, and to the driving of the frame in general, in connection with which it is demonstrated that the machinery for driving the saw-frame early attained forms which differ very little from the existing ones and that generally in this, as well as in many other fields, the obtaining of sufficient strenght has become the chief object; and that the development of the crank-shaft has advanced hand in hand with the increasing of the strokes of the frame.

In speaking of the devices for fastening the log, commencing with the so-called »sleigh» and after passing through several intermediary forms *Ransome*'s carriage is described. At the same time those possibilities of movement that are peculiar to each type of carriage have been taken into consideration and it is proven that the devices for fastening the log have a much more important bearing with regard to sawing than was believed before the middle of the nineteenth century. Speed especially in this relation is important, and just the reaching of high speed has been the goal of inventors.

In describing feeding devices a differentiation is made between those

where 1) the log moves forward while the saw moves upward, 2) the log moves forward while the saw cuts, and 3) continuous feed. The firstly mentioned method was general in the so-called Venetian saws for instance, and the secondly mentioned method represents a higher development. The most important types of appliances for obtaining this kind of feed are described. In the field of continuous feed 3) *Werner*'s continuous feed is mentioned, which in an improved form is used in planing machines and circular saws for instance; it is shown that the continuous feeding of a saw frame was invented by *Snyder Brothers*, and therefore is an American invention.

The author lastly calls attention to the fact of what great importance is the most detailed study of sawing machinery. Many things which formerly were undifferentiated, such as the inferiority of raw materials, insufficient use of electricity in the industry, the unfamiliarity with ball-bearings as well as that of chain-gears, etc. has caused that many important inventions in the sawing industry have not been adopted into use. Old patent descriptions, descriptions of old machinery, etc. undoubtedly contain many facts which it would be worth while to take into consideration, and the author mentions some such examples. On the basis of this the author expresses a wish that the development of sawing machines should be investigated more carefully, when not only machines that have had a significance, but also those that have been proposed, should be studied. This kind of research work would have a very important practical meaning, in the opinion of the author, if in studying the individual and most important parts of the machinery it would be possible to observe what different forms have been proposed during different periods of time for each part of the machine. But, in addition, it would be beneficial also to gather very general descriptions of sawing machines, because by their aid also it may be possible to arrive at forms which in some manner may be more advantageous than those of the present time.

PUUN MEKAANILLIS-TEKNILLISTEN OMINAISUUKSIEN TUTKIMUKSESTA, SEN TULOKSISTA JA TEHTÄVISTÄ.

KIRJOITTANUT

I. LASSILA.

THE MECHANICO-TECHNICAL PROPERTIES OF WOOD; THEIR STUDY AND ITS OBJECTS.

HELSINKI 1926.

HELSINKI 1926. SUOMAL. KIRJALL. SEURAN KIRJAPAINON OY.

Alkulause.

Metsäteknologia on laajin metsätieteistä. Siihen kuuluu m.m. puun jalostus, joka nykyään on jo siksi laaja ala, että se yksinään käsittää ainakin kaksi laajaa tiedettä, nim. puun mekaanillisen ja puun kemiallisen teknologian. Metsäteknologia onkin senvuoksi jo aikoja sitten menettänyt sen yhtenäisyyden, joka sillä vielä esim. GAYER'in aikoina oli, ja suotavaa olisi, että se jo metsätieteellisessä opetuksessa jaettaisiin ainakin 3:een osaan, nim. metsäteknologiaan (= metsäteknologia sanan ahtaammassa merkityksessä) sekä puun mekaaniseen ja kemialliseen teknologiaan. Teknillisessä korkeakoulussamme esim. on tämäntapainen jako jo asiallisesti suoritettu.

Rajaa puun mekaanisen teknologian ja metsäteknologian sanan ahtaammassa merkityksessä välille on sangen vaikea vetää, mutta vähitellen kai sekin muodostunee sangen tarkaksi, niin että kaikki ne puun ominaisuudet, jotka eivät edellytä muutoksia itse puuaineessa tulevat kuulumaan jälkimmäiseen jota vastoin edellinen tulee käsittämään puun korjaamisen ja sen mekaanisen jalostuksen.

Seuraavassa on käsitelty puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimusta, sen tuloksia ja tehtäviä. Tarkoitus on ollut pääasiallisesti luoda järjestelmä näiden ominaisuuksien käsittelylle sekä todeta, kuinka pitkälle niiden tutkimuksen alalla tähän asti on päästy. Lopuksi on myös viitattu muutamiin tärkeimpiin kysymyksiin, joiden tutkimus tekijän mielestä on lähitulevaisuuden tehtävä.

Kuten lukija teosta seuratessaan huomaa, ovat kirjallisuusluettelot usein puutteelliset. Niinpä viitataan teoksessa usein tekijöihin, joiden nimiä ei kirjallisuusluettelossa tapaa. Syystä, että tekijä on tehnyt suuren osan muistiinpanoistaan opintomatkoillaan ulkomailla, osaksi *Englannissa*, mutta pääasiallisesti *Ranskassa*, *Tanskassa* ja *Ruotsissa* ja syystä, että tekijä ei silloin ole ollut täysin selvillä siitä, mitä muistiinpanoja hän tulisi julkaisujansa varten tarvitsemaan, ovat usein teosten nimet, julkaisuvuodet j.n.e. jääneet merkitsemättä muistiin, eikä tekijä ole myöhemmin voinut tätä puutteellisuutta korjata.

Meiltä puuttuu eräs sangen tärkeä edellytys metsäteknologisten tutkimusten suorittamiseen, nim. metsäteknologinen laboratorio. Tekijä toivoo, että hänen jul-

kaisunsa osaltaan antaisi käsityksen sen perustamisen tärkeydestä maahamme, ja sen vuoksi on tekijä osaltaan tahtonut viitata niihin seikkoihin, joiden tutkimus meillä olisi otettava päiväjärjestykseen.

Erikoisesti pyytää tekijä puolestaan huomauttaa, että prof. A. K. CAJANDER'in metsätyyppiteoria varmasti tulee muodostumaan myös metsäteknologisen tutkimuksen pohjaksi ja tekemään mahdolliseksi metsäteknologian alalla sellaisten tulosten saavuttamisen, jotka voidaan paremmin sovelluttaa käytäntöön kuin tähänastiset.

Korkeakoskella heinäkuulla 1926.

Tekijä.

Sisällysluettelo:

Siv.

I. Johdanto. Puun mekaanillis-teknilliset ominaisuudet. 9

II. Historiallinen yleiskatsaus puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimukseen. 11

III. Puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimus ja sen tulokset 39

A. Puun paino 45

1. Absoluutisesti kuivan puun ominaispaino 49
2. Kuivan puun ominaispaino 51
   a. Maapallon osien vaikutus 52
   b. Puun horisontaalinen leveneminen 53
   c. Puun vertikaalisen levenemisen vaikutus 55
   d. Maanlaadun vaikutus 55
   e. Puun aseman metsikossa vaikutus 59
   f. Iän vaikutus 62
   g. Puun eri osien vaikutus 64
   h. Kaato-ajan vaikutus 67
   i. Puun vikanaisuuksien vaikutus 67
   j. Solujen väriaine- ja hartsipitoisuuden vaikutus 68
   k. Puun uiton vaikutus 69
3. Tuoreen puun paino 72
   a. Vuodenaikojen vaikutus 73
   b. Eri puunosien vaikutus 74
   e. Puun aseman vaikutus 77
   d. Kaato-ajan vaikutus 78
   e. Maanlaadun vaikutus 78

B. Puun vesipitoisuus 82

1. Puun absoluutinen vesipitoisuus 84
   a. Puun kuivan painon vaikutus 84
   b. Puulajin vaikutus 84
   c. Puun aseman metsikossa vaikutus 85
   d. Eri rungonosien vesipitoisuuden vaikutus 86
   e. Vuodenajan vaikutus 86
   f. Vuorokauden ajan vaikutus 90
   g. Ilmastollisten tekijöiden vaikutus 91
   h. Maan vesipitoisuuden vaikutus 92
   i. Haihtumisvirtauksien puussa vaikutus 93

Siv.
2. Puun kuivumisilmiö ... 95
a. Kaadetun, karsimattoman ja katkomattoman puun kuivuminen .. 96
b. Kaadetun, karsitun, kuorimattoman puun kuivuminen ... 97
c. Kaadetun, karsitun, katkotun ja osaksi tai kokonaan kuoritun puun kuivuminen ... 100
d. Kaadetun, karsitun, katkotun, kuoritun tai halaistun puun kuivuminen ... 105
3. Puun vedenimemis- ja uppoamisilmiö ... 108
4. Vesipitoisuuden vaihteluista johtuvat puun ko'on muutokset ... 109
a. Puun kokoonkutistuminen ... 109
b. Puun paisuminen ... 112
c. Puun halkeileminen ... 113
d. Puun kieroileminen ... 117
C. Puun lujuusominaisuudet ... 123
1. Puun vetolujuus ... 126
2. Puun puristuslujuus ... 128
a. Vesipitoisuuden vaikutus ... 131
b. Puun aseman metsikossa vaikutus ... 131
c. Leikkauksen aseman puussa vaikutus ... 132
d. Maanlaadun vaikutus ... 133
e. Vertikaalisen ja horisontaalisen levenemisen vaikutus ... 134
f. Painon vaikutus ... 134
3. Puun taivutuslujuus ... 135
a. Puun horisontaalisen ja vertikaalisen levenemisen vaikutus ... 140
b. Puulajin vaikutus ... 140
c. Puun aseman metsikossa vaikutus ... 141
d. Puuleikkauksen aseman puussa vaikutus ... 141
e. Kosteuden vaikutus ... 142
f. Ominaispainon vaikutus ... 142
g. Iän vaikutus ... 142
4. Leikkauslujuus ... 144
5. Nurjahduslujuus ... 146
6. Vääntölujuus ... 147
7. Kovuus ... 148
a. Voiman suunnan vaikutus ... 150
b. Puulajin vaikutus ... 150
c. Puun sisärakenteen vaikutus ... 150
d. Leikkauksen aseman puussa vaikutus ... 151
e. Vesipitoisuuden vaikutus ... 151
f. Puun lämpötilan vaikutus ... 151
g. Puun painon vaikutus ... 152
h. Katsaus kovuuteen ja sen merkitykseen ... 152
8. Puun halkeilevaisuus ... 154
a. Puun luonnollinen halkeaminen ... 154
b. Puun keinotekoinen halkeilevaisuus ... 155
aa. Suunnan vaikutus ... 157

Siv.
bb. Kovuuden vaikutus ... 157
cc. Vesipitoisuuden vaikutus ... 157
dd. Puun osien vaikutus ... 157
ee. Lämpötilan vaikutus ... 158
ff. Puun aseman metsikossa vaikutus ... 158
gg. Puun ominaispainon vaikutus ... 158
hh. Puun anatoomisen rakenteen vaikutus ... 158
ii. Työkalun muodon vaikutus ... 159
D. Puun johtokyky ... 162
1. Lämpöön nähden ... 162
2. Ääneen nähden ... 163
3. Sähköön nähden ... 165
IV. Yleissilmäys puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tähänastiseen tutkimukseen sekä tutkimuksen tehtäviin tulevaisuudessa ... 167
Summary:
The mechanico-technical properties of wood; their study and its objects 178

I. Johdanto.

Puun mekaanillis-teknilliset ominaisuudet.

Metsäteknologia käsittää kokemuksen ja tieteellisen tutkimuksen kautta saavutetut ja systemaatisesti järjestetyt tiedot metsäntuotteiden tuntemisesta, ominaisuuksista, korjaamisesta, jalostamisesta ja käyttämisestä.

Täten määriteltynä on metsäteknologia käsitelty laajimmassa merkityksessään. Metsäteknologia sanan ahtaimmassa merkityksessä käsittää ainoastaan kokemuksen ja tieteellisen tutkimuksen kautta saavutetut ja systemaatisesti järjestetyt tiedot puun (oikeammin puu-aineen, saks. *Holz*, ransk. *bois*, ruots. *ved*) ominaisuuksista.

Puuaineen ominaisuuksilla on, olivatpa ne mitä laatua tahansa, aina merkitys tekniikassa ja senvuoksi kutsutaankin kaikkia puuaineen l. puun ominaisuuksia yhteisellä nimellä *puun teknillisiksi ominaisuuksiksi*. Ne puiden teknillisistä ominaisuuksista, joiden merkitys on pääasiallisesti mekaaninen ja joiden tutkimustavoissa mekaanisilla menettelytavoilla on pääasiallisin merkityksensä, kutsutaan *puun mekaanillis-teknillisiksi ominaisuuksiksi*. Näistä voidaan vielä erottaa kaksi alaryhmää, nim. *puun fysikaaliset ominaisuudet* eli ne ominaisuudet, joiden tutkimuksessa puuainetta käsitellään aineena sanan fysikaalisessa merkityksessä ja puusta tehtyä kappaletta kappaleena sanan fysikaalisessa merkityksessä ja *puun mekaanillis-tekniliset ominaisuudet sanan ahtaammassa merkityksessä*, jolloin puun ominaisuuksia käsitellään ottamalla huomioon mekaniikan lait ja puuaineen mekaaninen erikoisuus.

Veisi tässä yhteydessä liian pitkälle esittää kaikkia erilaisia ja'oituksia puun ominaisuuksien suhteen; yllä oleva on esitetty ainoastaan senvuoksi, että siitä selviää, mitä jakoperustetta puun ominaisuuksien tutkimusta selviteltäessä seuraavassa tullaan käyttämään. Seuraavan esityksen pohjana on siis ja'oitus, jossa kaikki puun ominaisuudet käsitetään

teknillisiksi ja jaetaan ne kahteen osaan nim. kemiallis-teknillisiin ja mekaanillis-teknillisiin ja on mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimus menettelytapoineen ja tuloksineen seuraavan esityksen aiheena.

Esitys jakaantuu aluksi nim. *historialliseen katsaukseen*, jossa luodaan yleissilmäys puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimukseen pääpiirteissään ja *yksityiskohtaiseen selostukseen* puun tärkeimpien mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimuksesta ja tutkimussaavutuksista yleensä. Viimemainitussa osassa on myös, mikäli on voitu, noudatettu aikajärjestystä, sillä siten on käynyt mahdolliseksi seurata metsäteknologisen tutkimuksen kehitystä puun kunkin tärkeimmän mekaanillis-teknillisen ominaisuuden suhteen siinä järjestyksessä kuin kyseenalaisen ominaisuuden tunteminen, tuntemisen tarve ja tutkimusmenettelyt ovat kehittyneet. Kolmantena luonnollisena osana liittyy esitykseen *yleisarvostelu* tutkimustavoista ja tutkimussaavutuksista *ehdotuksineen* osaksi *tutkimustapojen parantamiseksi* ja osaksi *tutkimusalan laajentamiseksi*.

II. Historiallinen yleiskatsaus puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimukseen.

Puuaineen ominaisuuksien, varsinkin puuaineen lujuuden, tunteminen on jo ihmiskunnan sangen varhaisella kehitysasteella käynyt tarpeelliseksi. Kokemusten kerääminen tällä alalla lienee kuitenkin ensin käynyt välttämättömäksi laivanrakennuksen yhteydessä. Kun oli lähdettävä vuolaasti virtaavalle joelle tai myrskyisille rannikoille, puhumattakaan matkoista aavalle merelle, niin oli saatava jonkunlainen varmuus siitä, että alus kestää luonnonvoimien koetukset. Saavutettujen kokemusten perusteella tultiin tuntemaan, millaisesta puusta alus oli rakennettava, jotta se täyttäisi tehtävänsä. Sen täytyi olla puusta, jota voitiin taivuttaa ja muovailla sopivaan muotoon, sen täytyi kestää vedessä mahdollisimman kauan lahoamattomana ja sen täytyi kestää ne kolahdukset, joiden alaiseksi alus mahdollisesti joutui. Sitäpaitsi täytyi aluksen jokaisen osan ja siihen kuuluvien lisä-osien, airojen, mastojen y.m. olla mahdollisimman lujat. Näin tulikin merenkulkija huolellisesti valinneeksi puuaineen, jota hän tarvitsi, ja ottaneeksi selvää siitä, millainen puuaine aluksen kuhunkin osaan oli soveliain.

Maailman ensimmäinen merenkulkijakansa oli foiniikialaiset, josta tiedetään, että se jo noin 2800 e.Kr. harjotti huomattavaa rannikkoliikennettä. Myöhemmin tekivät foiniikialaiset jo sangen huomattavia merimatkoja. Niinpä lienevät he v. 600-tienoilla e.Kr. purjehtineet Gibraltarin salmen kautta aavalle merelle ja jatkaneet matkaa Britannian ympäri. Edelleen kerrotaan, että he olisivat purjehtineet Afrikan ympäri suunnassa idästä länteen. Selvää on, että näin pitkille merimatkoille tarvittiin kunnolliset alukset, ja tästä syystä ovatkin muinaiset foiniikialaiset saaneet perinpohjaisesti tutkia laivanrakennuspuun ominaisuuksia. Foiniikialaisten kokemuksista tällä alalla ei ole säilynyt mitään heidän aikuisiaan muistiinpanoja, mutta ovat heidän tietonsa siirtyneet niille kansoille, jotka lähinnä heitä oppivat laivanrakennustaidon ja vähitellen

ovat heidän tietonsa myös siirtyneet sellaisille kansoille, jotka merkitsivät ne muistiin. Näistä kansoista mainittakoon etusijassa muinaiset kartaagolaiset, joiden välityksellä laivarakennustaito siirtyi roomalaisille, jotka siitä ovat jättäneet kirjallisia muistiinpanoja.

Vaikk'eivät muinaiset egyptiläiset olleetkaan mitään varsinaista laivanrakentajakansaa, harjottivat hekin jo v. 1500-tienoissa e.Kr. laajaa jokiliikennettä sangen kehittyneillä aluksilla. Muinaiset egyptiläiset taas merkitsivät tärkeimmät tietonsa muistiin. Heidän hieroglyyfikirjoituksensa oli hidasta ja vaikeaa, joten ainoastaan kaikkein tärkeimmät asiat voitiin säilyttää tuleville sukupolville, ja jos oli kysymys erikoisesti jostakin ammattisalaisuudesta, niin olivat muistiinpanot hyvin suppeita ja siihen muotoon laadittuja, ett'eivät niistä muut kuin ne, joilla oli kirjoituksen avain, voineet saada selvää. Laivanrakennuspuun ominaisuuksista on olemassa heidän tekemiään muistiinpanoja, ja käsitellään niissä erikoisesti m.m. airopuuksi kelpaavan puuaineen ominaisuuksia, veneen kaarien rakennetta, mastopuun ominaisuuksia j.n.e.

Kaikkien tieteiden ja taiteiden alalla pääsivät kuitenkin muinaiset kreikkalaiset korkeimpaan kehitykseen. He osasivat käyttää hyväkseen suuren osan heitä ennen eläneiden sivistyskansojen jättämää perintöä, jotapaitsi he osasivat tehdä omia tutkimuksia ja havaintoja ja luoda niiden perusteella laajan teknillisen kirjallisuuden, kirjallisuuden, joka nykyäänkin on kunnioitusta herättävä. Ensimmäinen huomattava kreikkalainen, joka kiinnitti huomiota puuaineen ominaisuuksiin, lienee ollut PYTAGORAS, (570—500 e.Kr.), josta on sanottu, että hän on tutkinut enemmän kuin kukaan muu ihminen. PYTAGORAS muodosti koulukunnan, jolle hän antoi opetusta siten, että ulkopuolella olevat eivät saaneet päästä sitä kuulemaan. Hänen koulukuntansa oli jonkunlainen salainen seura, joka ei yleistyttänyt tietojaan, korkeintaan se jätti ne perinnöksi seuran uusille jäsenille. Näin ollen ei PYTAGORAS'kaan jättänyt jälkeensä mitään kirjallisia muistiinpanoja, vaan siirtyivät hänen oppinsa ensiksi perintönä uusille oppilassukupolville ja sen jälkeen vasta myöhemmin kirjallisuuteen. Mainitaan, että PYTAGORAS on tehnyt tutkimuksia puuaineen lujuusominaisuuksista, mutta on vaikea sanoa, mikä n.k. PYTAGORAAN opeista on hänen ja mikä hänen oppilaittensa. PYTAGORAAN lujuustutkimukset koskivat sillan- ja katon-kannatuspelkkoja.

Runsaasti kirjallisia muistiinpanoja on sitävastoin jättänyt jälkeensä ARISTOTELES (384—322 e.Kr.), Kalkediken niemimaalta kotoisin oleva filosoofi ja Aleksanteri Suuren opettaja. Hänen kerrotaan kirjoittaneen

kaikkiaan 1000 teosta, joista kuitenkin vain noin 400 on säilynyt jälkimaailmalle. Näistä 8 käsittää fysiikkaa ja mekaniikkaa, ja niissä hän useissa paikoin käsittelee puiden ominaisuuksia. Meren rannalla syntyneenä hän käsittelee puiden kuljetusta metsästä meren rantaan, siihen tarpeellisia kulkuneuvoja, laivanrakennusta, siltojen, möljien, puisten nostokoneiden rakentamista y.m.

Myös sotatiede on kehittänyt puiden ominaisuuksien tuntemista. Alkuperäisistä sota-aseista oli suurin osa puusta, sotavankkurit, heittokoneet j.n.e. sisälsivät puuosia ja sotarakenteissa tarvittiin puuta esim. siltoihin, sota-aluksiin, joiden täytyi olla tavallista lujempia ja tavallista kantavampia y.m. Muinaisten sotien yhteydessä usein kehittyi puuainettakin koskeva tutkimus ja erikoisesti mainittakoon tässä suhteessa Archimedes, joka kartaagolaisten sodassa roomalaisia vastaan teki monta puiden lujuutta ja muita puiden ominaisuuksia koskevaa keksintöä. Hän m.m. ensimmäisenä käsitti puun suuren vetolujuuden. Tässä yhteydessä kannattanee mainita, että Archimedeen laki ja parituhatta vuotta myöhemmin lausuttu Simpson'in sääntö vielä tätä nykyä Chapman'in nerokkaasti käyttäminä ovat laivanrakennustyön perustana. Archimedes kykenikin tarkemmin kuin monet sangen paljon myöhemmin eläneet lausumaan johtopäätöksensä lujuuskysymyksissä.

Keskiajan alussa olivat normannit huomattavin merenkulkukansa ja olivat he ensimmäiset, jotka osasivat käyttää purjetta samaan tapaan kuin nykyään. Tähän tarkoitukseen tarvitsivat he vahvoja mastoja ja sen vuoksi täytyi heidän oppia tuntemaan masto- ja raakapuiden ominaisuudet. Välimeren kansat taas kehittivät airojen käytön korkeimmilleen, joten he saivat oppia mitä huolellisimpaan airopuiden ominaisuuksien tuntemiseen.

Jo edellä mainittiin, että sotaretket usein ovat saaneet tekniikan alalla aikaan tärkeitä parannuksia. Myös laivanrakennuksen ja sen yhteydessä olevan puuaineen teknologisen käytön suhteen voidaan tämä sangen selvästi huomata esim. ristiretkien aikoina, jolloin suuria sotajoukkoja kuljetettiin Europasta Palestiinaan. Ristiretkien käytännölliseksi tulokseksi jäikin se, että esim. Venetsiasta, Genovasta ja Pisasta kehittyi ne suuret merenkulkukaupungit, joina ne sittemmin vuosisatoja pysyivät.

Jokainen uusi kehitysaskel merenkulussa tiesi uutta kehitystä puuaineen ominaisuuksien tuntemisessa, ja jo aikoja sitten oli kehittynyt erityinen laivarakentajain ammattikunta, jolla oli omat mestariohjeensa, joissa tarkimmiten tehtiin selvää siitä, minkälaisesta puusta kukin lai-

vanosa oli rakennettava, miten kukin eri puuosa oli kaadettava, kuorittava, kuivattava ja säilytettävä.

Itämeren ympärillä olevissa maissa on laivanrakennus pääasiallisesti saanut kehityksensä rauhallista tietä. Se kehittyi kaupan kehittyessä ja mahtava Hansa-liitto keräsi täällä ensiksi kokemukset laivarakennuksesta ja puuaineen käytöstä. Hansa-kauppias oli usein puutavaraliikemies aivan sanan nykyaikaisessa merkityksessä ja hansakauppiaan toimesta on moni uljas honka- ja tammipuu Suomenkin niemeltä saanut siirtyä rauhallisesta kasvupaikastaan johonkin hansalaivaan masto-, raaka- tai kölipuuksi tai johonkin muuhun tarkoitukseen käytettäväksi.

Rauhallisella tavalla sai myös muinainen Hollannin merimahti alkunsa ja Intian kauppaseura on rakentanut monta uljasta kauppalaivaa, joihin on käytetty tropiikien puulajeja, joilla oli sellaisia ominaisuuksia, joita ei ennen tunnetuilla puulajeilla ollut. Hollannin merivalta sai kuten tunnettua alkunsa vuoden 1300-tienoilla, mutta jo tätä ennen olivat hollantilaiset m.m. sangen perehtyneitä puutavaran jalostajia, (esim. tuulella käyvät sahamyllyt). Puun taivutustekniikka on myös Hollannissa huomattavalla tavalla kehittynyt.

Suuria kauppalaivoja ja sotalaivoja rakennettaessa kehittyivät myöskin puunjalostuskoneet ja niiden nykyaikaiset muodot ovat suureksi osaksi saaneet alkukehityksensä laivatelakoilla.

Ranskan loistoaika merivaltiona oli COLBERT'in aikoina (1660—1692) ja COLBERT'in ansioksi on m.m. luettava se, että asetettiin erikoinen virasto tutkimaan, miten laivarakennusta varten käytettävää puutavaraa parhaiten voidaan hankkia, ja mitä vaatimuksia laivarakennuspuulle semmoisenaan on asetettava, miten sitä on käsiteltävä, miten säilytettävä, parannettava j.n.e. Nämä COLBERT'in Ranskassa aikaansaamat tutkimukset antoivat sittemmin alun koko metsäteknologiselle tutkimukselle, ja johtivat Ranskassa pian kauniisiin tuloksiin.

Englantiin siirtyi laivanrakennustaito osaksi Hollannista ja osaksi Ranskasta. Myös täällä se johti pian monipuolisiin keksintöihin puunjalostuksen alalla. Tässä yhteydessä mainittakoon, että sekä sirkkelisaha että höyrysaha ja höyläyskone ovat saaneet alkunsa Englannin laivaveistämöillä. Englantilaiset oppivat myös sopivasti paloittelemaan puuaineen ja valitsemaan puuaineen eri osat sopivimpiin tarkoituksiinsa ja tällä tavalla saavuttivat he laajan kokemuksen esim. puunrungon eri osien ominaisuuksista.

Samoihin aikoihin kuin laivanrakennustiede ja -taito johtuivat käyttämään hyväkseen puiden ominaisuuksia ja niitä tutkimaan, kehittyi myös

rakennustaide ja rakennustiede tuntemaan puiden ominaisuuksia. Jo kaukaisessa muinaisuudessa oli käynyt tarpeelliseksi tehdä rakennuksia varten suunnitelmia ja piirustuksia. Ensimmäiset rakennuspiirustukset lienevät jo noin 2700-tienoilta e.Kr. On sanottu, että rakennustaide on kaikkien taiteiden äiti. Se on myös useiden tieteiden äiti, sillä rakennusta suunniteltaessa on ollut pakko kehittää paljon puhtaita tieteitä, niinkuin matematiikkaa, fysiikkaa ja kemiaa, geologiaa, minerologiaa sekä empirisiä tieteitä niinkuin mekaniikkaa, mekaanillista teknologiaa ja kemiallista teknologiaa. Että puuaineen ominaisuuksien tunteminen rakennusalalla jo aikaisin on ollut tärkeätä, on ilman muuta selvää. Metsärikkaissa maissa on puu ollut luonnollisin rakennusaine ja huomattavaa on, että metsät ennen ovat olleet paljon yleisempiä kuin nykyään. Mutta sielläkin, missä rakennusaineena pääasiallisesti on käytetty kiveä, on myös erinäisiin rakennusten osiin ollut välttämätöntä käyttää puuta. Esim. muinaiset egyptiläiset tarvitsivat rakennuksiinsa sangen huomattavassa määrin puutavaraa ja muinaiset assyrialaiset ja babylonialaiset olivat jo aikaisin pakoitetut käyttämään puuaineita virtojen törmille rakentamiensa rakennusten peruspaalutuksiin. Mitä korkeampia rakennuksia rakennettiin, esim. Eufratin ja Tigriksen varsille, sitä enemmän käytettiin puutavaraa rakennuksien korkeammalla oleviin osiin, joihin raskaampia rakennusaineita oli vaikea nostaa. Kun näin ollen tuli kysymykseen puutavaran nostaminen, tultiin myös ottamaan huomioon sen paino ja tällä tavalla tultiin tutkineeksi puuaineen painoa. Kun kuitenkin puuaineella täytyy olla määrätty lujuutensa, tultiin myös tehneeksi huomioita siitä, mitä yhteyttä puuaineen painolla ja lujuudella oli toisiinsa.

Muinaisten kreikkalaisten rakennuksissa oli paljon puuta. Niinpä oli tavallisesti niiden sisäkattona puisten palkkien kannattama laaka kasettikatto. Kattorakenteiden yhteydessä tultiin sekä kauneus- että lujuussyistä tutkineeksi puuliitoksia ja tässä yhteydessä esiintyy ensimmäisen kerran n.s. leikkauslujuus ja sitä koskevat tutkimukset. Rakennusaineiden käytössä muinaiset kreikkalaiset ovat myös tulleet tutkineeksi puuaineen halkeilevaisuutta.

Rakennuksien sisustukseen käytettiin myös puuta ja varmana voitaneekin pitää, että puunleikkaustaito on saanut alkunsa rakennustaiteen yhteydessä. Puunleikkaustaito taas johti tutkimaan puun halkeilevaisuutta, puun kovuutta, puun väriä, puun hienosyisyyttä ja monta muuta puun ominaisuutta. Jo muinaiset egyptiläiset joutuivat kulttikuvia tehdessään tutkimaan puun näitä ominaisuuksia.

Selvää on muuten, että puun veistotaito on suuressa määrin kehittä-

nyt eri puulajien puuaineen ja sen ominaisuuksien tuntemista. Harvinaisia ja kauniita puulajeja käytettiin ensiksi temppelien kalustukseen ja keskiajalla madonnan kuviin, alttariarkkuihin, alttarikaappeihin, kuorituoleihin j.n.e. Keski-aikaisissa luostareissa näpertelivät hurskaat luostariasukkaat tällaisia töitä ja luostareissa säilyi puiden tuntemus niinkuin moni muukin tieto ja taito maailman myrskyiltä. Luostareissa kehitettiin myös rakennustaitoa ja moni nerokas puinen kattotuolirakenne esim. on hurskaan munkin suunnittelema. Moni munkkirakennusmestari on myös kirjoitellut muistiin kokemuksia, joita on saavutettu rakennuksiin käytetystä puutavarasta.

Edelleen on huonekaluteollisuudella tärkeä merkitys puuaineen ominaisuuksia tutkittaessa. Muinaiset egyptiläiset tekivät jo paljon huonekaluja puusta, muinaisten roomalaisten ja kreikkalaisten huonekalustoista on suuri osa myös ollut kivestä, ja yleensä on mainittava, että huonekalujen tarve ennen muinoin oli paljon pienempi kuin nykyään, sillä muinaisaikojen sivistyneet kansat asuivat paljon lämpimämmässä ilmanalassa kuin me ja viettivät paljon suuremman osan ajastaan ulkosalla. Huonekaluja tarvittiin luonnollisesti enemmän siellä, missä ilmanala pakotti ihmiset viettämään suurimman osan ajastaan huoneessa. Huonekaluja alkaakin esiintyä suuremmassa määrin vasta silloin kuin kylmempien maiden kansat alkoivat kehittyä korkeammalle sivistysasteelle. Huonekaluteollisuuden voidaan sanoa alkavan Keski-Europassa vasta 1400-tienoilla. Huonekaluteollisuuden kehitys merkitsi luonnollisesti myös huomattavaa puuaineen tuntemisen kehitystä, jolloin luonnollisesti puuaineen värin, puuaineen syiden rakenteen, puuaineen tekoonkäypäisyyden j.n.e. tunteminen kävi tärkeäksi. Muodostui erityinen puuseppien ammattikunta, jolla taas oli omat kokemuksensa ja tietonsa näistä asioista. Ammattikunta taas säilytti tarkkaan tietonsa osaksi muistiinkirjoitettuinakin ja näin on ammattikuntalaitoksen kautta moni tärkeä metsäteknologinen seikka, esim. liimaus, säilynyt nykyaikaan.

Puun käyttö oli jo keskiaikaan saavuttaessa tullut yleiseksi monella ammattialalla. Puuta käytti hyväkseen rakentaja, laivanrakentaja, puuseppä ja kuvanveistäjä, muista ammattikunnista puhumattakaan. Jokainen ammattikunta tunsi ne puiden ominaisuudet, jotka olivat sen omalle alalle tärkeimmät.

Vielä on kuitenkin mainittava eräs ala, jossa puuta jo ammoisista ajoista on käytetty. Tämä ala on puun käyttö polttoaineena. Alkuperäisinkin polttopuun käyttäminen johtaa eräiden puuaineen ominaisuuksien tuntemiseen. Opitaan tuntemaan, missä tilassa puu parhaiten syt-

tyy, mikä puulaji syttyy nopeammin ja mikä hitaammin, mikä antaa lyhempi- ja mikä pitempiaikaisen hiilloksen, mikä puu palaa lyhemmässä, mikä pitemmässä ajassa j.n.e. Sitäpaitsi tarvittiin jo aikaisin puuhiiltä, metallien pelkistämiseen. Tällöin jouduttiin kokeilemaan, mistä puulajeista ja miten menetellen paras pelkistämishiili oli saatavissa, s.o. jouduttiin kokeilemaan hiilenpolton alalla. Näin syntyi taas erityinen hiilenpolttaja-ammattikunta ja voidaanpa sanoa, että hiilenpoltosta on saanut alkunsa koko puukemia. Tämän tutkimuksen piiriin kuuluu tältä alalta kuitenkin ainoastaan ne tutkimukset ja kokemukset, joita hiilipuun kaadon yhteydessä on tehty puun kaato-ajasta, puun kuivumisesta ja puun painosta.

Puuaineen ominaisuuksien tunteminen on kehittynyt käytännön pakotuksesta. Se on kehittynyt eri ammateissa ja eri tarkoitusperiä silmällä pitäen. Entisajan tutkijat, jotka hyvin usein, varsinkin muinaisessa Kreikassa ja Roomassa, harrastivat käytännöllisiä asioita, ovat useissa teoksissaan merkinneet muistiin neuvoja siitä, kuinka erinäisiä kokemuksia puiden käytön alalla on hyväkseen käytettävä. Kun nyt usein ne tarkoitusperät, joita silmällä pitäen kokemukset ovat tehdyt, ovat olleet sangen erilaiset, niin on selvää, että tiedot ovat olleet sangen ristiriitaisia ja sen vuoksi on niitä yhdisteltäessä tultu mitä erilaisimpiin tuloksiin. Niinpä esim. Aristoteles mainitsee, että paras puuhiili saadaan kuoritusta kuivasta puusta, jotavastoin Plinius Nuorempi mainitsee, että paras puuhiili saadaan kuorimattomasta kuivasta puusta. Näiden tietojen välillä oleva ristiriita vähenee kuitenkin paljon, kun otetaan huomioon, että Aristoteleen kokemukset koskevat lehtipuita, jotavastoin Pliniuksen kokemukset koskevat havupuuta. Lehtipuun kuoren runsas fosforipitoisuus saa aikaan sen, että rauta, sitä pelkistettäessä lehtipuuhiilellä, käy hauraaksi, jotavastoin siihen käytettäessä kuorellista havupuuhiiltä ei samaa haittaa ole yhtä suuressa määrin huomattavissa, sillä havupuuhiilen fosforipitoisuus on pienempi kuin lehtipuuhiilen.

Samantapaisia esimerkkejä löytyy hyvin paljon juuri hiilenpolton alalla: toinen esim. suosittelee lamamiilua toinen pystymiilua, mutta tulosten eroavaisuus voi riippua esim. käytettyjen puiden laadusta. Joka tapauksessa on se hajanainen tieto, joka muinaisaikojen teoksissa puiden ominaisuuksista löytyy, jo sen kautta arvokas, että se sisältää paljon ilmoituksia sellaisista asioista, joita myöhemmin on voitu ruveta tutkimaan.

Syystä, että kirjojen julkaiseminen ei entisaikoina ollut yhtä helppoa kuin nykyään, ja pienenkin »käsikirjan» aikaansaaminen vaati suuria

kustannuksia, täytyi tyytyä siihen, että ainoastaan mainittiin johtopäätös, johon tekijä oli tullut ilman, että sitä sanallakaan perusteltiin. On siis usein sangen vaikea tietää, onko tekijä itse tutkinut asiaa ja puhuuko hän omasta kokemuksestaan vai onko hän saanut tietonsa muilta. Ainoastaan silloin kuin jotkut muut historialliset tosiseikat tulevat avuksi, voidaan vasta päättää, milloin on kysymyksessä ensi ja milloin toisen käden tiedot.

Siitä, että tietoisuuden piiri oli muinoin paljon ahtaampi kuin nykyään, johtui, että ihmiset muinoin tavallaan olivat nykyisiä monipuolisempia ja että esim. heidän teoksensa käsittelivät useampia aloja kuin nykyään. Tästä syystä ovat myös tieteellisetkin teokset »monialaisempia» kuin nykyään ja varsinkin metsätieteitä koskevat seikat saadaan etsiä monia muita aloja, esim. maanviljelystieteitä, fysiikkaa, vuoriteollisuutta j.n.e. käsittelevistä teoksista.

Seuraavassa mainittakoon lyhyesti muutamia vanhan ja keskiajan tärkeimpiä teoksia, joissa on käsitelty metsäteknologiaa koskevia asioita.

MARCUS PORCIUS CATO on kirjoittanut teoksen nimeltä De re rustica. Tämä teos käsittelee maataloutta ja on siinä myös kiinnitetty huomiota puutarhanhoitoon ja metsänviljelykseen. Metsänviljelyksen yhteydessä puhutaan eri puulajien merkityksestä maataloudessa esim. mainitsemalla, mihin maataloudelliseen tarkoitukseen kukin puulaji on sopivin: mikä sopii aisapuuksi, mikä paalutuksiin, mikä siltoihin j.n.e. CATON teoksissa on myös puhtaasti maataloudellisissa osissa kiinnitetty huomiota metsäteknologiaan kuuluviin asioihin, joten hänen teoksestaan voi löytää paljon tätä alaa käsittävää.

Yksinomaan metsätaloutta ja osaksi myöskin puutarhanhoitoa käsitteli COLUMELLA'n kirja De arboribus. Tässä teoksessa tekijä pääasiallisesti puhuu puiden viljelemisestä, mutta johtuu myös puhumaan siitä, miten puita on viljeltävä, jotta saavutettaisiin haluttua puutavaraa. Niinpä puhutaan siinä siitä, miten tammimetsää on kasvatettava, jotta siitä saataisiin mahdollisimman suoraa ja oksatonta puuta, ja samassa yhteydessä tullaan myös puhumaan siitä, minkälaisiin tarkoituksiin oksaton puu on tarpeen j.n.e.

Lopuksi mainittakoon vielä PALLADIUKSEN teos, De re rustica, joka kokoonpanolleen on suunnilleen samantapainen kuin CATON edellä mainittu teos. Tässä mainitaan m.m. kokemuksia siitä, mitä puulajeja on käytettävä maataloudellisiin tarkoituksiin ja miten käytettävät puut ovat kaadettavat, kuorittavat ja muuten käsiteltävät, jotta ne paraiten kestäisivät sellaisina pylväinä, joista osa on maassa ja osa ilmassa.

Kaikki nämät teokset ilmestyivät ennen vuotta 500 j.Kr.

V. 500-tienoissa vallitsi kansainvaellusten aika ja ne sekaannukset, jotka siitä johtuivat. Kirjallisuus varsinkin tästä kärsi ja sen vuoksi alkaa, varsinkin luonnontieteiden alalla, sangen hedelmätön aika. Keskiaikaisella luonnontieteellisellä kirjallisuudella on sitäpaitsi oma erikoispiirteensä siinä, että se ei perustu tieteelliseen tutkimukseen luonnossa, vaan vanhojen teosten perusteella syntyneeseen filosoofiseen mietiskelyyn.

Tällainen kirjallisuuden johdolla laadittu teos, jota siihen aikaan myös kutsuttiin komplanatioksi, oli bolognalaisen senaattorin Petrus de Crescentiin kirjoittama teos, Ruralium commodorum libri XII, jonka kolmannen osan nimi oli De arboribus. Tässä osassa tekijä esittää ensiksi kaikki aristotelisen ja arabialaisen filosofian tiedot puista, joten hänen ansiokseen on luettava, että hän ensimmäiseksi kiinnitti huomiota m.m. niihin tutkimuksiin, joita Aristoteles ja hänen oppilaansa tällä alalla ovat tehneet. Mutta kaikkein pahinta asiassa on se, että hän useimmiten omilla skolastisilla viisasteluillaan tekee asioista johtopäätöksiä, joilla ei ole mitään yhteyttä Aristoteleen oppien sen paremmin kuin arabialaisten oppienkaan kanssa. Kun esim. Aristoteles puhuu hyvin raskaista, keskinkertaisen raskaista ja keveistä puulajeista, ja jossain arabialaisessa teoksessa on puhuttu puusta, joka on kova kuin kivi ja joka ei pala, siis todennäköisesti kivettyneestä puusta, niin katsoo Petrus de Crescentiis tästä voivansa tehdä sen johtopäätöksen, että puut ovat syntyneet siten, että kivet aikoinaan ovat muuttuneet puiksi ja mainitsee hän nähneensäkin sellaisia kiviä, jotka ovat puiksi muuttuneet. Tarkoittaako hän tällä kivettymiä, ei esityksestä selviä.

Keskiaikaisesta spekulatiosta vapaa oli jo sangen suuressa määrin Praedium rusticum, jonka laatiminen aloitettiin v. 1550 ja lopetettiin v. 1592. Teosta alkoi kirjoittaa ranskalainen lääkäri Etienne, sitä jatkoi ranskalainen Libault, kunnes lopulta ranskalainen lääkäri Sebizius sen saattoi onnelliseen loppuun. Se oli myöskin samantapainen komplanatio kuin edellinen, mutta Sebizius ilmoitti nimenomaan teoksen alkulauseessa, että on tärkeätä itse ottaa selvää sellaisista asioista, joita ei käsitä. Tästä syystä on teoksessa aina siellä täällä tekijän omia tutkimuksia sellaisissa kohdin, missä hän on niihin ollut tilaisuudessa, ja tällöin on aina huomautettu, tukevatko tekijän omat tulokset entisiä tutkimuksia tai ei. On siis helposti ymmärrettävissä, että teoksen laatiminen vaati niin pitkän ajan kuin 40 vuotta. Erittäin onnistunut on tässä teoksessa harvennushakkausten käsittely, ja näiden yhteydessä

puhutaan niiden vaikutuksesta puiden hienosyisyyteen ja puiden rakenteen tasaisuuteen.

Nämät kolme tutkijaa ovat oikeastaan ensimmäiset, jotka olivat selvillä siitä, että metsäteknologisten tutkimusten suorittaminen vaatii paljon aikaa ja uhrauksia ja omalla yli 40 vuotta kestäneellä työllään ovat he antaneet tuleville polville kauniin esimerkin.

Kaikille niille metsäteknologisille tutkimuksille, joita edellä on käsitelty, on ollut ominaista se, että niissä tuskin ollenkaan on esitetty puiden ominaisuuksia numeroilla. Yhteistä on niille myöskin se, että aineiston käsittely ei numeroiden puutteessa useimmiten ole voinut saavuttaa edes vaatimatontakaan tieteellistä tarkkuutta.

Ensimmäinen, joka yritti lausua numeroilla puiden ominaisuuksia, oli ranskalainen PARENT. Hän julkaisi Mémoires de l'académie des Sciences'ssä tutkimuksia tammen ja hopeakuusen lujuusominaisuuksista. Hän ehdotti, että näitä ominaisuuksia koskeva tutkimustyö järjestettäisiin siten, että jonkun puulajin lujuusominaisuus, tässä tapauksessa taivutuslujuus, merkittäisiin numerolla 100, ja muiden puulajien lujuusnumerot verrattaisiin siihen. Hänen tutkimustensa tuloksena oli, että tammen lujuus suhtautuu hopeakuusen lujuuteen = 119:100. Mitä itse tähän lukuun tulee, niin ei se edes suurena keskimääränäkään pidä paikkaansa. Nykyisten tutkimusten perusteella voitaisiin suhteen ehkä sanoa olevan suurena keskimääränä = 150 : 100. PARENT'in ansioksi onkin ainoastaan luettava lukujen käyttö tällaisissa tapauksissa sekä se seikka, että hän ensimmäisenä käytti punnuksia lujuustutkimuksissaan ja että hän tarkoin selitti, miten hän oli valinnut tutkimusaineistonsa ja miten hän oli tutkimuksensa suorittanut.

Tarkempia tutkimuksia on tehnyt MUSSCHENBROECK. Tämä hollantilainen tutkija on julkaissut teoksen, jonka nimi on Intruductio ad philosophiam naturalem, joka ilmestyi v. 1762. Hän tutki yksityisen puunrungon lujuussuhteita. Hän otti selville, minkälainen on puun lujuus juurenniskassa, minkälainen se on oksattomassa rungonosassa ja minkälainen latvukseen kuuluvassa rungonosassa. Paitsi näitä seikkoja otti hän selville, kuinka puun lujuusominaisuudet vaihtelevat, kun siirrytään määrätyt välimatkat kantoleikkauksesta ylöspäin. Hän oli ensimmäinen, joka tutki, minkälaisia olivat oksien lujuussuhteet runkoon verraten, oliko puun eteläpuolella olevan osan ja pohjoispuolella olevan osan lujuussuhteilla eroa keskenään, oliko puu lujempaa lähellä sydäntä kuin lähellä pintaa j.n.e. MUSSCHENBROECK'in tutkimuksille on ominaista niiden erikoinen selvyys ja loogillisuus sekä

varovaisuus johtopäätöksien tekemisessä, jotka eivät voineet ollakaan kau'askantoisia, sillä MUSSCHENBROECK'in materiaali oli sangen pieni.

Seuraava huomattava nimi puiden ominaisuuksien tutkimisessa oli LINNE'n vastustajan ja kuuluisan luonnontutkijan GEORGE LOUIS LECLERC BUFFON'in (1707—88)[1]). Hänen teoksensa julkaistiin vuosina 1825—29 nimellä Oevres complétes de Buffon. Näiden ensimmäinen osa käsittelee puiden ominaisuuksia. Niistä seikoista, joita BUFFON on tutkinut, mainittakoon m.m. seuraavat: mitä vaikuttaa puun kasvunopeus puun lujuuteen, mitä siihen vaikuttaa puun ikä, mitenkä vaihtelevat eri puun osien lujuusominaisuudet, mitä vaikuttaa puun lujuuteen puun erilainen kuivattaminen, mitä siihen vaikuttaa maan laatu, mitenkä suhtautuvat toisiinsa puun ominaispaino ja puun lujuus, minkälainen on puun eri osien paino ja mistä seikoista riippuvat painovaihtelut puun eri osissa, minkälaisilta maanlaaduilta saadaan parasta puuta y.m.

Puun ominaisuuksia tutkiessaan pani BUFFON sangen suuren merkityksen vuosiluston rakenteelle ja olisi hän epäilemättä päässyt sangen laajoihin tuloksiin, elleivät hänen tutkimuksensa olisi liikkuneet sangen rajoitetulla alalla, hän tutki nim. ainoastaan tammea. Hän on m.m. tavallaan ensimmäisenä lausunut, että lujuusominaisuuksiltaan hyvä lehtipuu tunnetaan leveistä vuosilustoista ja hän mainitsee, että, jos on verrattava toisiinsa kahta samalla maanlaadulla kasvavaa tammipuuta, on se puu aina parasta, jossa vuosirenkaat ovat leveimmät. Itse asiassa pitääkin tämä väite suuresti katsoen paikkansa, vaikkakin se on liian kategoorinen. BUFFON'in nimi on muuten todistuksena siitä, että ranskalaiset tiedemiehet hänen aikanaan pitivät sangen tärkeänä niinkin käytännöllisten asioiden tutkimista kuin puiden ominaisuuksien.

Itse asiassa oli metsäteknologisen tutkimuksen alalla BUFFON'in aikoihin mennessä paljon saavutettu, oli tutkittu puuaineen kaksi ehkä tärkeintä ominaisuutta, nim. puun paino eli niinkuin sitä silloin kutsuttiin puun tiheys, ranskaksi densité, ja puiden eri lujuusominaisuudet, siksi tarkkaan, että oltiin saavutettu käytännöllisesti katsoen sellaiset tiedot, jotka merkitykseltään lähentelevät nykyaikaisia. Oli myös tutkittu puiden vuosilustoja ja saatu selville niiden perustava merkitys puiden ominaisuuksia tutkittaessa. Puuttui ainoastaan henkilö, joka yhdisti kaikkien entisten tutkimusten tulokset ja asetti puiden ominaisuuksien tutkimuksen tieteelliseen järjestelmään. Tämä mies oli DUHAMEL

[1]) BUFFON oli metsänhoitaja. Ktso esim. CHR. GUYOT: l'Enseignement Forstier en France. Nancy 1898, siv. 9.

DU MONCEAU. Hän julkaisi v. 1730 ensimmäisen sillä kertaa vielä sangen vaatimattoman teoksensa nimeltä De la force des bois sekä sittemmin v. 1780 teoksensa Traite de la conservation et de la force des bois.

DUHAMEL DU MONCEAU oli ranskalaisen merisotaväen kenraalitarkastaja ja hänen teoksistaan sanoo kuuluisa metsäteknologian tutkija NÖRDLINGER, että hänen tutkimuksensa puiden ominaisuuksista voidaan terävä-älyisyytensä, filosoofisen henkensä, perusteellisuutensa, luonnonlakien tarkan seuraamisensa puolesta, jotka viimemainitut tutkija laajasti näyttää tunteneen, pitää esikuvana, jota kaikkina aikoina tulee olemaan vaikea saavuttaa.

DU MONCEAU'n tutkimukset käsittävät ensinnäkin puuaineen säilyttämisen s.o. tutkimuksen siitä, kuinka puu on visseihin tarkoituksiin kasvatettava, kaadettava, kuorittava ja kuivattava, selityksen puun eri osista sekä tutkimuksen puiden ominaisuuksista, joita DUHAMEL kutsuu nimellä puuaineen fysikaaliset erilaisuudet. Nämä ovat hänen teoksessaan seuraavat:

1) puun hygroskoopisuus, jossa DUHAMEL on tutkinut puun vesipitoisuuden vaihtelua eri vuodenaikoina, kuoritun puun vedenhaihduttamista, vedenhaihduttamisen riippuvaisuutta puun poikkileikkauspinta-alan suuruudesta, haihtumisen kulkua yleensä, kuorellisen puun haihduttamista, puun kuivattamista j.n.e.;

2) puun uppoaminen (imbibition), esim. terveen puun, lahovikaisen puun, vastakaadetun puun, kuivan puun, sydänpuun, pintapuun, sääsuhteiden vaikutuksen puun uppoamiseen j.n.e.;

3) kuivan puun veden otto ilmasta (absorbtion de vapeur, état hygrométrique du bois);

4) tiheys l. tiiveys (densité) jonka määrittelemiseksi DUHAMEL käytti kaksivartista vaakaa, jonka toisessa varressa oleva puupalanen voitiin upottaa veteen;

5) kovuus (dureté);

6) halkeavaisuus (fissibilité);

7) lujuus (force), josta annetaan siksi perusteellinen esitys, että se vieläkin on perustana puiden lujuustutkimukselle. Erikoisesti mainittakoon että DUHAMEL huomasi tässä suhteessa monta tärkeätä seikkaa, kuten esim., mitä vuosilustojen asema koekappaleessa merkitsee sen lujuudelle.

Jo tämä pieni katsaus osoittaa, että DUHAMEL DU MONCEAU on luonut varsinaisen metsäteknologian eli metsäteknologian sanan ahtaammassa merkityksessä. Hänen tutkimuksensa käsittävät siksi monia puu-

lajeja ja hänen aineistonsa oli siksi laaja, että nämä tutkimukset ovat saavuttaneet klassillisen arvon. DUHAMEL DU MONCEAU'ta onkin pidettävä yhtenä metsätieteen perustajista ja mainitaankin hän täydellä syyllä metsäteknologian isäksi. Voidaan myös sanoa, että jos muut metsäteknologian perustieteet niinkuin esim. fysiikka ja kemia olisivat olleet hänen aikanaan kehittyneemmät kuin ne olivat, ja jos hänellä olisi ollut käytettävänään edes 18-vuosisadan alkuvuosienkaan apuneuvot, niin metsäteknologisella tutkimuksella olisi paljon vähemmän tehtävää kuin mitä sillä nykyään on. Voidaan nim. sanoa, että DUHAMEL DU MONCEAU kaikilla niillä aloilla, joita hän tutki, keksi kaikki senaikaisilla apuneuvoilla keksittävissä olevat perusseikat, ja sen vuoksi onkin DUHAMEL'in suurteos ollut se lähde, josta tutkimusaiheita tulevia tutkimuksia varten on ammennettu.

Ennenkuin voidaan jatkaa esitystä puiden ominaisuuksien tutkimustyön kehityksestä on mainittava muutama sana käsitteestä kimmoisuus eli elastisuus. Jos jossain kappaleessa jonkun voiman vaikutuksesta tapahtuu muodonmuutos, pyrkii kappale voiman vaikutuksen tauottua takaisin entiseen asentoonsa. Tätä kappaleen ominaisuutta kutsutaan kimmoisuudeksi eli elastisuudeksi. Jos suorakulmaiseen koordinaatistoon asetetaan ordinaata-akselille vaikuttava voima mitattuna painoyksiköllä pintayksikköllä kohti ja abskissa-akselille neutraalisen kerroksen siirtyminen taivutuspisteessä mitattuna pituusyksiköllä, niin syntyy, kun tällaisia mittauksia tehdään tarpeeksi useita, täten merkittyjen pisteiden kautta kulkeva käyrä, jota kutsutaan kimmoisuuskäyräksi.

Aluksi on voiman vaikuttama siirtyminen suhteellinen voiman lisääntymiseen, mutta lopulta tullaan sellaiseen pisteeseen, jossa käyrän siirtyminen tapahtuu nopeammin kuin voiman lisääntyminen edellyttäisi. Tämän pisteen kohdalla on saavutettu n.k. kimmoisuusraja, jonka jälkeen kappale ei enää palaa entiseen muotoonsa. Sitä voimaa, joka vaikuttaa kimmoisuusrajaa vastaavan muodonmuutoksen, sanotaan tietopuoliseksi kantovoimaksi ja ennen aikaan elastisuus-koeffinentiksi.

Jos voima kasvaa tietopuolista kantovoimaa suuremmaksi, ei kappale enää palaa entiseen muotoonsa, mutta ei kuitenkaan vielä heti murru. Lopulta tulee kuitenkin kappaleen eri osien välinen kiinnevoima voitetuksi ja voimaa, joka kykenee tämän tekemään, kutsutaan kappaleen murtovoimaksi.

Puiden lujuuden tutkimuksessa ottivat näiden seikkojen tutkimisen ensimmäisenä[1]) tehtäväkseen GIRARD ja PERONNET, jotka jo 1800-tienoissa

[1]) DU MONCEAU ei tutkimuksissaan ollut selvillä elastisuus käsitteestä, jonka YOUNG ja TREDGOLD ovat tuoneet tieteeseen.

tutkivat näiden uusien seikkojen valossa tammen ja valkokuusen lujuusominaisuuksia.

Vähän myöhemmin eli v. 1815 ilmestyi CHARLES DUPIN'in teos Expériences sur la flexibilité, la force et l'élasticité des bois. DUPIN otti ensimmäisen kerran käytäntöön puun tutkimisessa kimmoisuuskäyrän, josta jo edellä on mainittu, määritteli tutkittavan puukappaleen neutraalisen tason l. n.k. neutraalisen akselin sekä tutki kimmoisuuskäyrän luonnetta. Hän huomasi m.m. että neutraalisen akselin siirtyminen ennen kimmoisuusrajaa oli suhteellinen taivuttavaan voimaan. Sitäpaitsi pani hän merkille, että kimmoisuusrajan saavuttamiseen tarvittiin muutamille puulajeille verrattain vähän voimaa, jotavastoin murtumisrajan saavuttaminen oli vaikeampi. Tällaisia puulajeja olivat m.m. pyökki, pähkinäpuu, jalava ja valkokuusi. Muutamat puulajit taas kestivät paljon taivutusta, mutta sen sijaan murtuivat helposti, esim. sypressi ja mahonki. Toisille puulajeille taas oli kummankin rajan saavuttaminen vaikea ja näistä mainittakoon korsikalainen mänty ja tammi.

Tämäntapaisen luokittelun perusteella arvosteli DUPIN senjälkeen, mihin tarkoituksiin kutakin puulajia voitiin käyttää.

PONCELET on myöskin tehnyt samansuuntaisia tarkkoja tutkimuksia. Hän on tutkinut puiden kimmoisuuden yksityiskohtia ja etenkin puiden laajenemista kimmoisuuskokeissa. Sitäpaitsi on hän tehnyt MINARD'in ja DESORMEN ja ARDANT'in kokeiden perusteella sen johtopäätöksen, että alkukuormitukset ovat suhteelliset puun vastaaviin pitenemisiin sekä laskenut tämän perusteella kimmoisuuskoefisientin. Tammi saavuttaa hänen, MINARD'in ja DESORME'n tutkimusten mukaan kimmoisuusrajansa silloin kuin sitä jokaista neliömillimetriä kohti rasittaa 2.13 kilon suuruinen pituussuuntainen voima, jolloin se pitenee 0.0016 alkuperäisestä pituudestaan. Vastaavat luvut ovat ARDANT'in mukaan vogesilaiselle kuuselle 1.85 ja 0.00117. Nämät tutkimuksensa julkaisi PONCELET teoksessaan Mécanique Industrielle, v. 1839.

Tämän jälkeen ovat italialaiset PACCINOTTI ja PERI tehneet sangen tarkkoja tutkimuksia puiden kimmoisuudesta. He ovat käyttäneet useita menettelytapoja kimmoisuuskoeffisientin määräämiseksi ja koettaneet päästä selville menettelytapojensa luotettavaisuudesta huolellisesti arvostellen niitä. He käyttivät kokeisiinsa puutankoja, joiden poikkileikkaus oli neliö, jonka sivu oli 27—35 mm. He tutkivat vetolujuutta, taivutuslujuutta ja vääntölujuutta eli oikeammin sanoen kimmoisuuskoeffisientteja näissä lujuuksissa. Paitsi tätä ottivat he huomioon sen seikan, että

erilainen puiden kiinnittäminen vaikuttaa tutkimusten tuloksiin ja käyttivät sen vuoksi 5 eri kiinnittämistapaa.

Heidän huomioistaan mainittakoon seuraavaa:

1) puun kimmoisuus aiheuttaa puun eri osissa ko'on muutoksia, jotka ovat suhteellisia kuormituksiin niin kauan kuin ei ole saavutettu murtorajaa ja vieläpä sangen lähellekin murtorajaa;

2) taivutuskokeiden perusteella piirretyt käyrät ovat samanlaisia samoille puulajeille edellyttäen, ettei häiritseviä olosuhteita, kuten esim. oksaisuutta ja epänormaalista kasvua, ole olemassa;

3) jos kimmoisuuskoeffisientti jaetaan ominaispainolla, niin on täten saatu osamäärä kaikille puulajeille konstantti, nim. = 2000.

Paccinottin ja Perin tutkimukset olivat eräässä suhteessa kuitenkin vaillinaiset. He eivät nim. ottaneet huomioon sitä seikkaa, että ilman kosteus sangen suuressa määrin vaikuttaa näin pienien puukappaleiden kimmoisuuteen. Kun yleensä kimmoisuus on sitä suurempi mitä kuivempaa puu on, niin on myös selvää, että suuremmassa koekappaleessa ilman kosteus vähemmässä määrin tulee samassa ajassa lisänneeksi koekappaleen kosteutta kuin pienemmässä kappaleessa, jossa se nopeasti ehtii tunkeutua suhteellisesti syvälle kappaleeseen.

Hyvin suurta kehitystä puun ominaisuuksien tutkimiselle merkitsi Chevanderier'in ja Wertheim'in 1848 Parisissa julkaisema teos Memoire sur les Propriètès mècaniques du bois.

Koska tämä tutkimus on alallaan melkein ainutlaatuinen, kannattaa mainita vähän sen syntymisestä. Tutkimus suoritettiin eräällä Vogeseilla sijaitsevalla 4,000 hehtaarin laajuisella metsäalueella, joka käsitti sangen erilaisia kasvupaikkoja. Koekappaleet valittiin mitä tarkimmin ja selitettiin tarkoin millaisilta paikoilta, millaisessa asemassa kasvaneesta puusta ne olivat otettuja. Samoin otettiin huomioon maaperä, ilmansuunnat j.n.e. Sitäpaitsi oli tutkijoilla käytettävinä mitä parhaimmat tutkimusvälineet ja koneet. 5 päivänä lokak. 1846 he jättivät tutkimuksensa Ranskan Tiedeakatemian arvosteltaviksi. Tutkimuksen tarkkuutta todistaa m.m. niiden kysymysten laatu, jotka tutkijat olivat ottaneet vastattavakseen. Ne olivat seuraavat:

1) mitä vaikuttaa vähitellen kasvava kuormitus puuhun, mitä lakeja noudattavat puun muodonmuutokset kuormituksen kasvaessa, mitkä menettelytavat ovat käytännöllisimmät puiden mekaanisten ominaisuuksien arvostelemiseksi ja määräämiseksi ja

2) vaihtelevatko puun mekaaniset ominaisuudet:

a) puun sijaitsemiseen ilmansuuntiin nähden,

b) vesipitoisuuden mukaan,

c) puun eri osien mukaan puun sydämmestä pintaan edeten yhtä korkealla maanpinnasta,

d) eri korkeuksilla maanpinnasta,

3) mitä vaikuttaa puun mekaanisiin ominaisuuksiin puusyiden pituus;

4) mitä vaikuttaa niihin puiden ikä;

5) mitä vaikuttaa niihin vuosilustojen leveys, expositioni ja maanlaatu;

6) missä suhteessa ovat puiden ominaisuudet toisiinsa;

7) mitä keskilukuja voidaan antaa puiden mekaanisista ominaisuuksista ja missä suhteessa nämä ovat toisiinsa?

Heidän saamistaan lopullisista numeroista mainittakoon m.m. seuraavat:

Puulaji	Tiheys (om. paino)	Elastisuus-koefficientti	Lujuus
Tammi	0.616—0.993	500—1600	5—12
Pyökki	0.600—0.811	950—1483	8—12
Hopeakuusi	0.443—0.703	611—1615	5— 9
Kuusi	0.396—0.753	433—1776	4— 8

Kuten ennen jo on mainittu, käyttivät aikaisemmat tutkijat puun ominaispainolle nimitystä tiheys, ransk. *densitè*. Ne luvut, joita yllä on esitetty puiden ominaispainoille, ovat arvioidut n.k. ilmakuivalle puulle. Kun CHEVANDIER ja WERTHEIM eivät olleet tilaisuudessa tutkimaan kaikkien koekappaleittensa ominaispainoa vastakaadettuina, niin keksivät he menettelytavan laskea vastakaadetun puun paino, joka perustui siihen, että ominaispainon ja vesipitoisuuden välillä vallitsisi määrätty suhde. Tähän otaksumaan perustuen he keksivät menettelytavan, jota myöhemmin tullaan tarkemmin selostamaan. Kuten myös myöhemmin tullaan huomaamaan, ei heidän otaksumansa täydellisesti pidä paikkaansa jo senkin vuoksi, että puut kuivuessaan halkeilevat, joten niiden kuutiosisällys ei säännöllisesti haihdunnan kautta kutistu ja sen vuoksi ei myöskään tällaista suoranaista suhdetta ole olemassa. Tästä syystä eivät CHEVANDIER'in ja WERTHEIM'in ominaispainoa osoittavat luvut ole oikeat, mutta poikkeavat ne sangen vähän oikeista. Oikeat luvut olisivat suunnilleen seuraavat:

tammi	0.69—1.03
pyökki	0.66—0.83
hopeakuusi	0.37—0.60
kuusi	0.35—0.60

Kuten huomataan ovat erot sangen pienet, melkeinpä sellaiset, että keskimäärät tulevat käytännöllisesti katsoen samoiksi.

Edelleen mainittakoon heidän tutkimuksistaan, että he ovat tarkimmiten tutkineet lehtipuiden ja havupuiden suhdetta ilman kosteuden imemiseen ja todistaneet että lehtipuut yleensä pikemmin imevät itseensä vettä kuin havupuut.

Paitsi puiden n.k. fysikaalisista ominaisuuksista ovat he myös tehneet tärkeitä huomioita puiden kemiallisista ominaisuuksista. He ovat m.m. tutkineet puun käyttöä potaskan valmistukseen ja sillä tavalla tulleet tutkineeksi m.m. puun tuhka-ainepitoisuutta. Niinpä ovat he huomanneet että toisista puulajeista tulee enemmän tuhkaa kuin toisista, että talvella ja syksyllä kaadetusta puusta saadaan enemmän tuhkaa kuin kesällä kaadetusta, että juuripuusta saadaan enemmän tuhkaa kuin runkopuusta, että vanhemmasta puusta saadaan enemmän tuhkaa kuin nuoremmasta, että uitetusta puusta saadaan sitä paljon vähemmän kuin uittamattomasta. Tässä yhteydessä he ovat tulleet myös lausuneeksi arvosteluja monesta tärkeästä mekaanillis-teknillisestä seikasta.

Sitäpaitsi ovat Chevandier ja Wertheim tutkineet puuaineen tuhkapitoisuutta eri maanlaaduilla. Heidän tutkimusalueillaan oli m.m. seuraavat maanlaadut: kirjavaa hiekkakiveä, vogesilaista hiekkakiveä, ja kalkkikiveä, joka oli syntynyt maatuneista simpukoista. Niinpä he huomasivat, että viimemainittujen maanlaatujen puiden tuhkapitoisuus oli huomattavasti pienempi kuin edellisten ja sitäpaitsi huomasivat he, että laihan hiekkamaan puut olivat tuhkapitoisempia kuin savimaan.

Edellä ei ole mainittu vielä mitään niistä tutkimuksista, joita on tehty puiden polttoarvoon nähden. Huomiot puiden polttoarvoon nähden ovat luonnollisesti ikivanhat ja kuuluu niiden tutkiminen hyvin läheisesti, kuten tuhkapitoisuudenkin tutkiminen, myös puukemian alalle, joten nämä seikat tässä yhteydessä suureksi osaksi sivuutetaan. Mainittakoon kuitenkin, että tältä alalta on sangen vanhoja tutkimuksia, esim. Georg Ludvig Hartigin tutkimus, jonka nimi on Physikalische Versuche über das Verhältniss der Brennbarkeit der meisten deutschen Waldbaumhölzer, joka ilmestyi Marburg'issa v. 1794. Hän rakensi erityisen laitteen tutkimuksiaan varten, erään-

laisen muuratun kattilan, jonka hän täytti vedellä ja jonka lämpötilan hän kohotti 0°:sta 100°:een C sekä mittasi osaksi sen puumäärän, joka tarvittiin tähän lämmön lisäykseen tai poltti määrätyn määrän halkoja ja mittasi sen lämmön lisäyksen, joka syntyi kattilassa olleessa vedessä, tai otti huomioon sen lämmön lisäyksen, joka syntyi kattilassa hiiloksen hehkumisesta sammumiseen asti.

Vähän myöhemmin teki VON WERNECK samantapaisia kokeita käyttäen veden asemasta hienoa hiekkaa. Hän julkaisi tutkimuksensa v. 1808 nimellä Physikalisch-chemische Abhandlungen über die speziefischen Gewichte der vorzüchlichsten deutschen Holzarten und ihre verschiedene Brennkraft.

Sekä kokeellisesti että teoreettisesti on polttoarvoa tutkinut DE JUSSIEU teoksessa Cours de botanique, joka ilmestyi v. 1842. Hän mainitsee m.m. että puun erilaiseen polttoarvoon paitsi ominaispainoa vaikuttaa puun rakenne. Niinpä esim. pyökissä n.k. primäärinen puu sisältää lingniiniä yhtä paljon kuin selluloosaa, jotavastoin sitä tammen sekundäärisessä puuaineessa on $^2/_3$ ja ebenholzin sekundäärisessä puuaineessa on $^9/_{10}$. Suurempi lingniinipitoisuus lisää polttoarvoa samoin kuin myöskin suurempi väriaineiden, joita J. kutsui nimellä Xylochrompitoisuus. Tästä syystä on tammen polttoarvo suurempi kuin nuoren pyökin ja ebenholzin suurempi kuin tammen.

1850-luvulle mennessä oli, niinkuin edellä olevat selostukset osottavat, jo sangen paljon tutkimuksia ja kirjallisuutta olemassa puiden ominaisuuksien alalta. Oli jo määritelty puiden tärkeimmät ominaisuudet, ja oli keksitty tutkimustapoja ja koneita niiden tutkimiseen. Sitäpaitsi oli jo tällä alalla saavutettu arvokkaita tuloksia, sellaisia tuloksia, joiden arvo oli säilynyt meidän päiviimme asti. Tämä kaikki on tärkeätä tietää, jotta on mahdollista ymmärtää ne suuret tulokset, jotka NÖRDLINGER saavutti. Tunnettu saksalainen metsäteknologian tutkija ja metsäteknologinen kirjailija EXNER on sanonut, että NÖRDLINGER'in saavutukset ovat yhtä suuret kuin hänen edeltäjiensä yhteensä. Tavallaan pitää tämä paikkansa, mutta toiselta puolen voidaan sanoa, että NÖRDLINGER ei olisi voinut saavuttaa niitä tuloksia, joihin hän on päässyt, ellei hänellä olisi ollut niitä edeltäjiä, joista edellä olemme puhuneet. Tämän NÖRDLINGER itse myöntääkin teoksensa alkulauseessa, jonka hän v. 1860 julkaisi Stuttgart'issa J. G. COTTA'n tunnetun kustannusliikkeen kustannuksella. Erikoisesti hän antaa suuren arvon DUHAMEL DU MONCEAU'lle, jonka teoksien huonoa saksankielistä käännöstä hän valittaa. Hän mainitsee, että DUHAMEL DU MONCEAU aina on huomattava yhtenä metsä-

teknologian tärkeimmistä perustajista. Edelleen on mainittava, että Nördlinger on tarkoin käyttänyt hyväkseen kaiken sen, mitä Duhamel du Monceau on julkaissut ja että hän on tarkoin tuntenut kaikki Duhamel du Monceau'n menettelytavat ja tulokset. Samoin hän antaa suuren arvon Chevandier'in ja Wertheim'in tutkimuksille, joiden tulokset ja menettelytavat yhtä mittaa esiintyvät hänen tutkimuksissaan.

Ennenkuin luodaan lyhyt silmäys Nördlinger'in edellä mainittuun pääteokseen, mainittakoon muutama sana Nördlinger'istä itsestään ja siitä, miten mainittu teos syntyi. Nördlinger oli metsänhoitajasukua, hänen isänsä oli tunnettu metsänhoitomies Julius Nördlinger. Hän oli saanut perinpohjaisen luonnontieteellisen sivistyksen ja ymmärsi ennen kaikkea, kuinka suuri merkitys puiden ominaisuuksien tuntemisella on metsänhoitomiehelle ja puuta hyväkseen käyttävälle teknikolle. Teoksensa alkulauseessa hän mainitsee: »puiden tarkka tunteminen metsänhoitomiehelle ja puuta käyttävälle teknikolle on siksi tärkeä, ettei siinä suhteessa tarvitse esittää mitään todistuksia. Metsänhoitomiehet ja suuremmat puutavaran käyttäjät tulevat aniharvoin tekemisiin keskenään, varsinkaan välittömästi. Tästä syystä eivät metsänhoitomiehet useimmitenkaan tiedä, mitä ominaisuuksia heidän hankkimallaan puutavaralla on ollut ja toiselta puolen taas rakennusmiehet käsityöläiset ja tehtailijat kokoovat käyttämästään puutavarasta kokemuksia, joiden perussyitä he eivät tunne, sillä heiltä puuttuu kaiken punainen lanka, nim. tieto siitä, millaisissa olosuhteissa puut ovat kasvaneet. Kumpikin seuraa omaa tietänsä, välittämättä toisistaan. Tällä tavalla saavat selityksensä metsänhoitajien tekemät, juurtuneet erehdykset ja ne monet vastakkaiset mielipiteet puiden ominaisuuksista, joita rakennusmiesten ja puutyöläisten keskuudessa oikeidenkin kokemusten ohella tavataan.»

Samalla tavalla kuin laivanrakennus kaikkialla on ollut alkusyynä metsäteknologian kehittymiseen, samalla tavalla myöskin Nördlinger mainitsee kaksi syytä, jotka ovat aiheuttaneet Saksassa metsäteknologisen tutkimuksen kehittymistä. Hän mainitsee, että löytyy kaksi seikkaa, joiden täytyy tässä suhteessa olla Saksassa uranuurtavia, nim. tammipuun suuri käyttö valtionrautateillä sekä vasta alkanut sotalaivaston rakentaminen, jotka molemmat seikat ovat saaneet aikaan, että puutavaran hinnat ovat päivä päivältä nousseet.

Nördlinger'in pääteos syntyi siten, että hän joutuessaan luennoimaan metsäteknologiaa, tuli huomaamaan omasta maasta saatujen kokemusten puutteen. Tämän johdosta hän kääntyi Hohenheimin akatemian puoleen anomuksella saada avustusta metsäteknologisten tutkimusten-

toimeenpanemiseksi. Hohenheimin akatemia puolestaan kääntyi Würtembergin kuningaskunnan rahaministeriön puoleen, joka v. 1847 myönsi tarvittavan avustuksen. Suurella innolla ryhtyi NÖRDLINGER valmistamaan yksityiskohtaista ohjelmaansa tutkimuksiaan varten. Juuri näihin aikoihin eli v. 1848 ilmestyi CHEVANDIER'in ja WERTHEIM'in edellä mainittu teos. Sen ilmestymistä tervehti NÖRDLINGER suurella ilolla, lausuen m.m.: »se tuli minulle sitä mieluisempana, koska se etupäässä tutkii kimmoisuutta ja lujuutta, s.t.s. juuri niitä aloja, jotka varsinkin mitä koneisiin ja koneiden hankkimiskustannuksiin tulee olivat minulle vähimmän tunnetut. Niinpä en esim. kyennyt murtamaan koekappaleitani omilla koneillani.»

Työssään oli NÖRDLINGER'illä paljon innostuneita apulaisia. Näistä mainittakoon Tübingen'in yliopiston professori REUSCH, joka alkuaan oli Stuttgartin polyteknillisen opiston opettaja ja sanotun opiston assistentti sittemmin yliopettaja HÄBERLE, joka viimemainittu auttoi NÖRDLINGER'iä tarpeellisten koneiden valmistamisessa sekä tutkimusten tulosten laskemisessa.

Hyvin suurena apuna tässä suhteessa oli NÖRDLINGER'ille myös École forestiere de Nancy'n opettajan GRIMBLOT'in aikaisemmin alkuunpanemat kokeet, joista hän on julkaissut yhteenvedon nimellä, Precis du cours de construction a l'École de Nancy, joka teos selvittää Nancyn metsäopistossa alotettuja tutkimuksia puiden lujuussuhteiden alalla ja joka teos myöskin on EXNER'in mukaan ollut perustavana metsäteknologiselle koetoiminnalle.

Kokonaista 13 vuotta käytti NÖRDLINGER teoksensa laatimiseen, sillä se ilmestyi v. 1860. Sen nimi oli Die technischen Eigenschaften der Hölzer für Forst- und Baubeamte Technologen und Gewerbtreibende. Teoksen omistaa hän isällensä JULIUS NÖRDLINGER'ille, »isänmaallisen metsänhoitolaitoksen ansiokkaalle veteraanille hänen 89 syntymäpäivänään uudenvuoden päivänä 1860». Ei ole monta syntymäpäivää sen kunniakkaammin vietetty eikä moni isä ole elämänsä ehtoolla saanut iloita poikansa ansiokkaammasta työstä.

NÖRDLINGER'in teos luo metsäteknologian perusteet, kun metsäteknologia käsitetään sanan ahtaammassa merkityksessä. Se on teos, joka on säilynyt läpi aikojen ja ainoastaan kehittynyt tekniikka ja luonnontieteiden edistyminen ovat tehneet mahdolliseksi sitä täydentää. Sanoimme täydentää senvuoksi, että tosiasiassa ei NÖRDLINGER'iä ole asiallisesti korjattu, on ainoastaan voitu parannella hänen tutkimuksiaan. Päinvastoin täytyy sanoa, että myöhemmät kirjailijat eivät ole osanneet käsitellä

puiden ominaisuuksia niin perusteellisesti ja niin valaisevalla tavalla kuin NÖRDLINGER, joka riippuu siitä, että he eivät ole vaivautuneet edes tarpeeksi tutkimaan NÖRDLINGER'in teosta, eivätkä ole niin ollen olleet selvillä siitä, kuinka perinpohjaisiin tutkimuksiin ja terävään ajatteluun perustui.

Seuraavassa luodaan ainoastaan pintapuolinen silmäys tämän monumentaalisen teoksen sisällykseen, sillä jo se antaa käsityksen siitä perinpohjaisesta työstä, minkä NÖRDLINGER on tehnyt. Teos sisältää seuraavaa:

1) puun anatoominen rakenne l. sisäinen rakenne, kuten NÖRDLINGER sitä kutsuu. Tämä käsittää sekä euroopalaiset puulajit että palmut että saniaiskasvit. Se käsittää puun makroskoopisen rakenteen kuvaamalla erikoisia esimerkiksi sopivia puulajeja. Kuvaus on järjestelmällinen erottaen makroskoopisesti puun eri osat määrätyssä järjestyksessä sisältä ulospäin. Sen jälkeen seuraa metsäteknologisia tarkoituksia varten tarpeellinen esitys puun mikroskoopisesta rakenteesta, jossa selvitetään yksityiskohtia myöten, miten ja minkälaisista soluista kukin edellisessä ja'oituksessa mainittu osa on rakennettu.

Tämän jälkeen seuraavat järjestyksessä puiden ominaisuudet. Ne mainitaan seuraavassa ainoastaan luvun nimellä silloin kuin niiden esitys ei ole sen perusteellisempi kuin nykyisissä käsikirjoissa, jotavastoin luvusta tehdään tarkemmin selvää silloin kuin esitys on uudempien oppikirjojen esitystä parempi. Puiden ominaisuudet ovat, edellä mainittu Innerer Bau niihin luettuna, seuraavat:

2) hienosyisyys.

3) väri, kiilto, läpinäkyväisyys.

4) haju.

5) lämmönjohtokyky.

6) puun kyky imeä ja haihduttaa vettä ja vesihöyryä. Tämä luku on täydellisempi kuin missään nykyaikaisessa teoksessa. Se käsittelee m.m. puun upottamista veteen, jolla on merkityksensä tukinuitossa ja otetaan siinä m.m. huomioon lehti- ja havupuiden uppoaminen, vastakaadetun ja kuivuneen puun uppoaminen, pinta- ja sydänpuun uppoaminen, lahovikaisen puun uppoaminen j.n.e. Edelleen otetaan huomioon vuodenaikojen vaikutus, uppoamisen kehitys heti puun kaadosta kyllästymiseen asti, atmosfääristen seikkojen vaikutus uppoamiseen, uppoaminen makeassa ja suolaisessa vedessä j.n.e. Toiselta puolelta taas tutkitaan sitä, kuinka vesi haihtuu puusta, kun puu on ollut vedessä määrättyihin kosteusasteisiin asti.

7) Ominaispaino l. tiheys l. tiiveys. Myöskin tämä osa on perusteellisempi kuin missään nykyisessä teoksessa, sillä se käsittää m.m. ominais-

painot erilaisille puunleikkauksille, siis sellaisille, jotka ovat suurimmaksi osaksi sydänpuusta tai pintapuusta tai näiden väliltä, jotka käsittävät enemmän vuosilustoja säteen suunnassa tai pitemmältä vuosilustoja pituusakselin suunnassa j.n.e.

8) kovuus.

9) halkeilevaisuus.

10) kutistuminen, paisuminen ja kieroutuminen. Tämä luku käsittää m.m. hyvin ansiokkaan esityksen näiden ominaisuuksien merkityksestä yleisessä jokapäiväisessä elämässä sekä keinoja niistä johtuneiden haitallisuuksien poistamiseksi.

11) kimmoisuus. Tämä luku on käsitelty laajemmin kuin missään nykyaikaisessa teoksessa ja antaa se varmasti paljon ohjeita vastaisille kimmoisuustutkimuksille.

12) notkeus ja sitkeys.

13) lujuus.

14) puun kemiallinen kokoomus. Tästä luvusta mainittakoon erikoisesti, että se osottaa kuinka hämmästyttävän tarkat tiedot NÖRDLINGER'illä oli senaikuisesta puukemiasta. Hänen esityksensä oli täydellisesti senaikuisen tieteen tasalla, jotavastoin myöhemmissä varsinkin saksalaisissa teoksissa tämä osa on ollut sangen vaillinainen, jopa harhaan johtavakin.

15) polttoarvo. Tämä luku käsittää puun polttoarvon erilaisissa tulipesissä ja erilaisiin lämmitystarkoituksiin käytettynä. Se ei ole samanlainen turhanpäiväinen lukujen esittely kuin se kaikissa metsäteknologian käsikirjoissa on, vaan se esittää kaiken sen, mitä silloin puusta polttoaineena polttoainetalouden kannalta tiedettiin, sekä syyt puuaineen erilaiseen käytäntöön polttoaineena, joina mainittakoon erilaiset solussa löytyvät kemialliset aineet, puun terveys, ominaispaino kuivana, ilmanala, kasvupaikka, kaatoaika, ikä, puunosa, uitto j.n.e.

16) kestävyys. Myöskin tämä luku on tavallista täydellisempi käsittäen paitsi puun kestävyyttä eri tilanteissa myös syyt kestäväisyyden erilaisuuteen sekä kestäväisyysvaihtelut puun eri osissa.

17) puun viat.

Kuten jo tästä lyhyestä sisällysluettelosta näkyy, ei oppiin puiden ominaisuuksista ole myöhemmin voitu mitään sellaista lisätä, josta NÖRDLINGER'ille aikoinaan oli mahdollista saada selvää. Ainoa seikka, mikä NÖRDLINGER'iltä näyttää osaksi unohtuneen, on puun äänenjohtokyky ja sähkönjohtokyky. Mutta näistähän ominaisuuksista ovat tutkimukset vielä tätä nykyäkin sangen vähäiset. Tunnettua, että NÖRD-

LINGER nämäkin seikat tunsi, mutta yleensä näkyy, että hän on tahtonut välttää teoksessaan kaikkea, joka on liian vähäarvoista niihin asioihin nähden, mitä hän teoksessaan esitti.

Suurimerkityksellisiä metsäteknologisen tutkimuksen kehitykselle 19-vuosisadan puolivälin jälkeen olivat n.k. aineenkoetuslaitokset, joita näihin aikoihin alkaa entistä runsaammin ilmestyä. Niitä alkaa ilmestyä teknillisten oppilaitosten yhteyteen ja oli niiden tarkoituksena tutkia kaikkien tekniikassa käytettyjen aineiden ominaisuuksia ja määrätä niiden käytännöllinen arvo. Aineenkoetus on sekä mekaaninen että kemiallinen ja luonnollista oli, että myöskin puu joutui useiden tutkimusten alaiseksi. Näihin aikoihin alkavat valtiotkin antaa suoranaista avustusta metsäteknologiselle tutkimukselle.

V. 1855 pidettyyn Pariisin maailmannäyttelyyn oli englantilainen insinöörikapteeni FRANCIS FOWKE järjestänyt tutkimuksia Englannin siirtomaiden puulajien lujuusominaisuuksista. Samanlaisen näyttelyn järjesti hän myöskin Lontoon maailmannäyttelyyn v. 1862. Tähän näyttelyyn kokoontuneen puumateriaalin tutkiminen, jota saapui kaikista Suur-Britannian siirtomaista, jätettiin näyttelyn jälkeen FOWKEN huoleksi. Hän sai käytettäväkseen HAYWARD TYLER & Co:n valmistaman hydraulisen puristimen, jota hän yksinomaan käytti kokeisiinsa. Tämän koneen avulla tutkittiin 3,000 koekappaletta ja määriteltiin niiden lujuusominaisuudet. Aineisto oli, mitä varsinkin puulajien lukuisuuteen tulee, siis sangen suuri. Mutta puulajit olivat merkityt luetteloihin ainoastaan niillä paikallisilla nimillä, joita milloin minkin maan alkuasukkaat käyttivät, eikä aina ole edes mainittu paikkakuntaa, mistä puulajit olivat kotoisin, puhumattakaan muista tämäntapaisten tutkimusten yhteydessä tärkeistä seikoista. Tästä syystä on tämän jättiläistyön arvo jäänyt sangen pieneksi kaikille muille paitsi niille, jotka voivat saada selvän kyseessä olevien puulajien nimien oikeasta merkityksestä. Tutkimuksensa tulokset julkaisi FOWKE Science and Art Departement Comittee of Council on Education'in kustannuksella Lontoossa v. 1867 nimellä: Tables of the results of a series of experiments on the strength of british colonial and other woods.

Samalla tavoin julkaistiin Unkarin hallituksen kustannuksella VON JENNY'n tutkimus nimeltä Untersuchungen über die Festigkeit der Hölzer aus den Ländern der ungarischen Krone, Budapestissa v. 1873. JENNY on tutkinut puristus-kimmoisuutta ja -lujuutta, leikkauslujuutta puusyiden suuntaan koekappaleille, joiden

suhteen tunnettiin kotipaikka, maanlaatu ja vuosilustojen leveys. Tutkimuksiin liittyi myöskin teoreettisia huomioita.

Näihin aikoihin oli jo milt'ei kaikissa maissa, joissa metsätaloudella on jonkinmoinen merkitys, alettu perustaa metsätieteellisiä koelaitoksia, joiden tehtäväksi tuli tutkia kaikkia niitä seikkoja, joista metsätalouden menestyminen riippuu ja jotka voivat olla omiansa korottamaan metsätalouden aineellista tai rahallista tuottavaisuutta.

Näitä perustettiin v. 1870 Saksiin ja Badeniin, 1872 Preussiin, Würtembergiin ja Thüringeniin, 1875 Baijeriin ja Itävaltaan, 1876 Braunschweigiin, 1882 Unkariin, Ranskaan, Hesseniin ja Elsas-Lothringeniin, 1885 Sveitsiin, 1887 Japaniin, 1901 Tanskaan, 1902 Ruotsiin ja 1917 Suomeen. Sitäpaitsi on osittain täydellisiä tutkimuslaitoksia, osittain tutkimusasemia olemassa Pohjois-Amerikassa, Venäjällä, Rumaniassa, Italiassa, Belgiassa, Norjassa y.m.

Näiden sekä aineenkoetuslaitosten tutkimuksista mainittakoon m.m. seuraavat: EXNER, Studien über das Rothbuchenholtz, joka ilmestyi Wienissä 1879, Pragin polyteknillisen opiston assistentin KARL MIKOLASCHEKin tutkimus, Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit der wichtigsten Bau- und Nutzhölzer Böhmens. MIKOLASCHEK on tutkinut Böhmissä esiintyviä puulajeja GOLLNER'in koneen avulla ja oli kustakin koepuusta otettu kolme leikkausta nim. yksi heti kannon yläpuolelta, yksi määrätyltä korkeudelta rungosta ja yksi jostakin oksasta. Tutkittiin kimmoisuus, lujuus, nim. veto- ja puristus syiden suuntaan, taivutus- ja torsionikimmoisuus ja lujuus sekä leikkauslujuus puusyiden ja puusyitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Mitään johtopäätöksiä ei näiden tutkimusten perusteella ole tehty. Tutkimukset ovat julkaistuina Itävallan Metsätieteellisen koelaitoksen julkaisuissa.

Erittäin huomattavaa työtä on tällä alalla tehnyt Sveitsin aineenkoetuslaitos Zürichissä. Sen perustaja ja johtaja professori TETMAJER julkaisi tutkimuksensa nimellä Methoden und Resultate der Prüfung der Schweitzerischen Bauhölzer, joka ilmestyi v. 1883. Tutkimusta varten kaadettiin kaikkiaan 31 kokonaista rakennuspuun runkoa ja näiden suhteen tehtiin seuraavat muistiinpanot: kasvupaikan geologia, kasvupaikan sijaitseminen, kasvupaikan korkeus merenpinnasta, puun ikä ja selitys puun ulkonäöstä.

Samana vuonna ilmestyi BAUSCHINGER'in tutkimus Münchenissä nimellä Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit von Fichten und Kiefern Bauhölzer. Tutkimukset

tätä varten olivat tehdyt Münchenin teknillisen korkeakoulun laboratoriossa. Bauschinger tahtoi erikoisesti tutkia kasvupaikan ja kaatoajan merkitystä näihin seikkoihin. Hän käsitti, että pienien koekappaleiden tutkiminen ei voi antaa käytännöllisiä tuloksia sen vuoksi, että puuaine niissä on laadultaan paljon yhdenlaatuisempaa kuin suurissa. Senvuoksi hän käytti koekappaleita, joiden jänneväli oli 2 $^1/_2$ m. Aineistonsa hän valitsi sangen huolellisesti. Koepuut kaadettiin neljältä maanlaadulta ja olivat ne 90—100-vuotisia. Sitäpaitsi hän valitsi mahdollisimman terveitä ja virheettömiä puita, sillä hänen mielestään olivat puiden vikanaisuudet siksi moninaisia, ettei niiden vaikutusta erikseen voitu määritellä. Tämä tapa on oikeastaan virheellinen, sillä käytännössä saadaan aniharvoin näin hyvää tavaraa, mutta toiselta puolelta voidaan myös määritellä jokseenkin tarkoin, minkälaista puuta Bauschinger oli tutkimuksiinsa käyttänyt. Kun tarkat tiedot lujuudesta ovat välttämättömät juuri silloin kun kuormitukset ovat suuret, niin itse asiassa tällaisessa tapauksessa aina valitaan mahdollisimman hyvää puutavaraa, ja senvuoksi on Bauschinger'in tutkimuksilla merkityksensä silloin kun suurista kuormituksista on kysymys. Kasvupaikkojen määräämisessä noudatti Bauschinger tarkoin Baijerin metsätieteellisen koelaitoksen antamia ohjeita, joten hänen aineistoaan tältäkin kannalta voidaan arvostella. Kaatoajan vaikutuksen selville saamiseksi kaadettiin osa koepuista elokuussa ja osa joulu- ja tammikuussa. Ennen lujuuskokeita tutkittiin koekappaleiden ominaispaino ja kosteus, joten ei tultu vertaamaan tässä suhteessa eriarvoisia koekappaleita toisiinsa. Kun vielä mainitaan, että laskelmissa otettiin huomioon kaikki muodolliset seikat, niin on selvää, että Bauschinger'in tutkimuksilla on suuri arvo ja ovat ne vielä tätä nykyäkin alallaan voittamattomia.

Uudemmista tutkimuksista mainittakoon Rudeloff'in lujuustutkimukset vuodelta 1899 sekä Schwappach'in tutkimukset männyn, kuusen, Strobus-männyn ja pyökin puristuslujuudesta ja irtomittaisesta painosta, jotka ilmestyivät vuosina 1897 ja 1898. Tämän jälkeen ilmestyi 1900-luvun alussa suuret määrät puun lujuutta koskevia tutkimuksia, joista mainittakoon Hadek'in, Cieslar'in, Janka'n, Wijkander'in, Flury'n y.m. tekemät tutkimukset.

Kaikkein pisimmällä ovat nykyään lujuustutkimusten alalla ameriikalaiset metsäkoelaitokset, jotka toimivat maanviljelysministeriön alaisena. Nämä ovat m.m. ottaneet tutkiakseen puita sen kokoisina kuin ne käytännöllisissä tarkoituksissa esiintyvät sekä luokitelleet puut sel-

laisia lajitteluperusteita käyttäen, jotka yleensä esiintyvät puutavaramarkkinoilla.

Metsätaloudellinen tutkimustyö on Amerikassa sangen nuori. Vasta 1870-luvun lopulla (1878) perustettiin maanviljelysdepartementin yhteyteen erikoinen metsäosasto (Division of Forestry), v. 1901 se muutettiin erikoistoimistoksi (The Bureau of Forestry). Nykyinen nimitys (Forest Service) on vuodelta 1905. Yhdysvaltojen kuuluisan Forests Products Laboratory'n, Madison, Wiscons'in, perustajina on mainittava Forest Servicen miehet MC GARVEY CLINE ja HOWARD T. WEISS. Vielä 1910 tienoissa sisältyi koko laboratorio MR WEISS'in persoonaan ja arvonimeen sekä — — kahteen galvanisoituun rautasilinteriin, jotka MR WEISS oli hankkinut opettaakseen eräälle lousianalaiselle liikkeelle puun impregnoimista. Seuraava aste oli 125 dollarin suuruinen kuukautinen määräraha huoneuston vuokrausta varten, joka määräraha oli sikäläisissä oloissa siksi mitätön, että sillä ei olisi voinut vuokrata edes kunnollista autotallia. Vasta sittenkuin MADISON'in yliopisto oli luovuttanut laboratoriolle ilmaiseksi huoneet, lämmön ja valaistuksen, voidaan tämän kuuluisan laboratorion sanoa saaneen alkunsa. Nykyään on MADISON'in laboratorion henkilökunta yli 200 ja sen vuosimääräraha on noin 300,000 dollaria.

Kun on kysymys MADISON-laboratorion saavutuksista, niin on huomattava, että laboratorio on vielä sangen nuori. Ei siis ole ilman muuta pidettävä sen saavutuksia »maailman parhaina» ja sen tutkimusmenetelmistä huomaa usein, etteivät laboratorion tutkijat läheskään ole selvillä europalaisista saavutuksista. Tästä syystä on laboratorio monella alalla varsinkin puiden mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimuksessa takapajulla europalaisista tutkimuksista, mutta toiselta puolen on se puuttunut moneen käytännölliseen seikkaan tavalla, johon europalaiset laboratoriot eivät ole pystyneet. Näistä mainittakoon erikoisesti *III:nen sektion* tutkimukset (hygroskoopisuus, lämmönjohtokyky, puun uunikuivaus, kuivauksen vaikutus puun ominaisuuksiin y.m.) ja *I:sen sektion* tutkimukset (erikoisesti suurempien hirsien ja pelkkojen lujuuden ja käyttökelpoisuuden tutkiminen, puiden luokittelu erilaisiin n.k. density rules j.n.e., puuseppäteollisuuden tuotteiden lujuustutkimukset, esim. kärrynpyörät puupropellit j.n.e., lentokoneosien tutkimukset ja ennen kaikkea pakkilaatikoiden ja muiden pakkauslaitteiden tutkimukset). Mainittakoon vielä laboratorion laatimat *»nailing shedules»*, jotka skemaatisesti osottavat, miten pakkilaatikkoja mitä erilaisimpia tarkoituksia varten on naulattava, kuinka suuria nauloja on käytettävä j.n.e. Labo-

ratorion tutkimusalaan kuuluu yleensä kaikki, mikä koskee puun sekä mekaanista että kemiallista teknologiaa, esim. puun konserveeraus, puun patologia, puuvanuke, sellulosa, paperi, puun sivutuotteet ja puuteollisuuden jätteet, metsänhakkuu-, sahalaitos- ja mekaaninen jalostustekniikka y.m.

Edellisessä on MADISON-laboratorio käsitelty näinkin laajasti syystä, että se on määrärahoihin ja koneellisiin apuneuvoihin nähden etusijalla kaikista puun mekaanillis-teknillisellä alalla työskentelevistä laboratorioista ja senvuoksi, että seuraavassa usein tullaan käsittelemään sen menettelytapoja ja tuloksia.

Kanadassa on viitisen vuotta sitten perustettu The Forests Products Laboratories of Canada, joka on melkein kaikessa MADISON'in laboratorion mukainen, mutta sitä paljon pienempi. Sen pääasiallisin tutkimusala on rakennuspuun lujuustutkimukset ja niiden yhteydessä olevat seikat.

Myös Ranskassa on ulotettu lujuustutkimukset puukonstruktioihin. Tutkitaan m.m. erilaisten naulausten, erilaisten ympyräliitosten ja erilaisten poimulevyjen avulla yhdistettyjen puurakenteiden lujuutta. Yleensä voidaan sanoa, että puiden lujuustutkimus on siirtynyt yleisten lakien tutkimisesta käytännöllisten erikoistehtävien ratkaisuun ollen se suoranaisesti kussakin tapauksessa käytännön palveluksessa. Tästä on ollut seurauksena, että puiden lujuustutkimuksessa on ruvettu ottamaan huomioon paljon sellaisiakin seikkoja, jotka eivät yleensä enään kuulu metsäteknologian alalle, vaan alkaa puun lujuustutkimus yhä enemmän siirtyä tekniliselle alalle ja tulee se läheisessä tulevaisuudessa sangen luultavasti muodostamaan oman erikoistieteensä. Se tulee kuulumaan tätä erikoisalaa harrastavalle insinöörille eikä enää kuulu metsätieteiden piiriin.

Puiden lujuusominaisuuksien tutkiminen on ollut tärkeä tekijä metsäteknologian syntymiselle, mutta nykyisessä asteessaan se lopullisesti tullee joutumaan tämän tieteen ulkopuolelle. Samaa voidaan sanoa myös puiden monien muiden ominaisuuksien tutkimisesta. KARMARSCH oli ensimmäinen, joka hänen aikanaan tunnettujen puiden teknillisten ominaisuuksien perusteella otti tutkiakseen, miten puita oli käytettävä teollisuustarkoituksiin. Hänen teoksensa nimi on: Die Grundlage für die Örterung aller technischen Eigenschaften, die zur Verarbeitung und Verwendung des Holzes in der Industrie in Relation stehen. Häntä seurasivat tällä samalla alalla HEYER, STÜBCHEN-KIRCHNER, KICK, GINTL, LEDEBUR y.m.

Kun puiden teknillisten ominaisuuksien tutkimuksesta on puhe, on myös mainittava GAYER'in nimi. Hän ei itse asiassa ole tällä alalla luonut kovinkaan paljon uutta, mutta hän on mainittava sen vuoksi, että hän ensimmäisenä NÖRDLINGER'in jälkeen käsittelee puiden teknillisiä ominaisuuksia sitä systeemiä noudattaen, jonka NÖRDLINGER on luonut. Hän on sitäpaitsi ensimmäinen, joka samalla koettaa luoda yleiskatsauksen puiden teknillisten ominaisuuksien vaikutukseen puun teolliseen käyttöön. Hän on myös mainittava siksi, että hänen julkaisemansa oppikirja on vaikuttanut paljon käsitykseen puiden ominaisuuksista meidän maassamme ja yleensä pohjoismaissa.

Samalla kertaa on myös mainittava henkilö, jolla on ollut sangen suuri merkitys käsityskannan luomiseen näistä asioista pohjoismaissa ja etenkin meillä viime aikoihin asti, nim. ruotsalainen THELAUS, joka oppikirjassaan Lärobok i skogsteknologi on ansiokkaasti esittänyt puiden teknilliset ominaisuudet. Hän on yleensä sangen tarkasti seurannut NÖRDLINGER'iä ja suurella arvostelukyvyllä osannut valita ne seikat, jotka hän faktoina esittää. Hän on myös aina osannut ottaa huomioon kunkin erikoisen ominaisuuden käytännöllisen merkityksen ja tällä tavalla on hän luonut teoksen, joka vielä nytkin on sangen arvokas.

Yllä olevassa on esitetty puiden teknillisten ominaisuuksien tutkimuksen pääpiirteet. On tarpeetonta luetella niitä lukuisia oppikirjoja, joita metsäteknologian ja ammatillisen tavaraopin alalla näiden lisäksi myöhemmin on ilmestynyt. Kun edellä oleva aineisto on ollut käytettävissä on yleensä ollut sangen helppo laatia ne teokset, joita näillä aloilla varsinkin Saksassa viime aikoina on tuhkatiheään ilmestynyt.

Puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien selvittelylle ei yleensä metsäteknologisissa teoksissa ole omistettu tarpeellista huolta. Siitä on syntynyt samantapainen yhteenveto kuin entisajan historian oppikirjat, joissa vuosiluvut ja hallitsijain nimet, sotaretket j.n.e. ovat olleet pääasiana, mutta joissa ei ole huomattu esittää historiallisten tapahtumien alkusyitä, eikä niitä suuria lakeja, joita historiallinen tutkimus voi todeta eikä niitä suuria kysymyksiä, joita historiallinen tutkimus tahtoo ratkaista.

Kun seuraavassa ryhdytään tarkastelemaan puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimusta, tahdotaan niitä käsitellä luonnonilmiöinä, joilla on käytännöllinen merkitys ja senvuoksi on seuraavassa tarkoituksena tutkia sitä, miten puiden ominaisuudet ovat määriteltävät, millä tarkkuudella niitä voidaan lausua, mikä on kunkin ominaisuuden käytännöllinen merkitys ja mitä ratkaisemattomia seikkoja tällä alalla vielä on olemassa, sekä miten tutkimusmenettelyjä tällä alalla voitaisiin

kehittää. Puiden ominaisuudet ovat laaja tutkimusalue. Yksityiselle tutkijalle on ollut mahdollista ainoastaan pienissä yksityisseikoissa korjata tai täydentää ennen saavutettuja tuloksia, ja missä tämän teoksen tekijä on sen tehnyt, on ainoastaan lopulliset numerot mainittu, sillä tutkimusmateriaalin esittäminen ei kuulu tämäntapaisen teoksen puitteisiin, yhtä vähän kuin tutkimusmenetelmien yksityiskohtainen selvittelykään. Ne ovat seikkoja, jotka ovat julkaistavat erikoisteoksessa.

Käytettyä kirjallisuutta:

ARENHOLD, L.: Die historische Entwickelung der Schiffstypen. Kiel und Leipzig 1891.

BARLOW, A.: Essay on the strength of timber. 1817.

BELIDOR, E.: Architecture hydraulique. Paris 1782.

BERTIN, L.E.: Notice sur la marine à vapeur. Paris 1875.

BETTS, HAROLD S.: Timber, its strength, seasoning and grading. New-York 1919.

BUFFON, GEORGE, LOUIS, LECLERC, Oevres completes du Buffon, Tome I. Paris 1825.

CHEVANDIER, E. et WERTHEIM, G.: Memoire sur les propriétés mécaniques du bois. Paris, Bachelier, imprimeur-libraire 1848.

DUPIN, CHARLES: Expériences sur la flexibilité, la force et l'élasticité des bois. Journal d'l'Ecole polytechnique. Tome X. Paris 1815.

DUPONT, et BOUQUET DE LA GRYE. Les bois indigénes et étrangers. Paris 1875.

ENDRES, MAX: Die Waldbenutzung von 13 bis Ende des 18 Jahrhunderts. Tübingen 1888. Kapitel II.

FITGER: Wirtschaftliche und technische Entwickelung der Seeschiffahrt.

GAYER-FABRICIUS: Die Forstbenutzung. Berlin 1919.

GIRARD, L.: Traité de la résistance des solides. Paris 1798.

GREELEY, W. B.: Some Public and Economic Aspects of the Lumber industry. Rept 114 of the Office of the Secretary of the United States Department of Agriculture 1917.

GRÖTSCH, F. W.: Zur Geschichte und dem Wesen der Baumrodung (Forstliche Blätter, 1891).

HARTIG, GEORG LUDWIG: Physikalische Versuche über das Verhältniss der Brennbarkeit der meisten deutschen Wald-Baum-Hölzer. 2. Aufl. Herborn 1804.

HESS, RICHARD: Encyklopädie und Methodologie der Forstwissenschaft. Teil II. Die forstliche Produktionslehre. München 1890. 3. Buch. Forstbenutzung.

INSTRUCTION sur les bois de marine et leur application aux constructions navales. Publicé par Ordré de S. Exc. ministre secrétaire d'état au département de la marine. Paris 1842.

LINDSAY: History of merchant shipping.

LOREY, TUISKO: Handbuch der Forstwissenschaft. II. Band. Produktionslehre. Tübingen 1912. Die technischen Eigenschaften der Hölzer von Wilhelm Franz Exner.

LAAS, W.: Die grossen Segelschiffe, Ihre Entwicklung und Zukunft. Berlin 1908.
DU MONCEAU, DUHAMEL: De L'Exploitation des Bois ou Moyens de tirer un parti avantageux des taillis, demi-futaies et hautes-futaies, et d'en faire une juste estimation, avec la description des arts qui se pratiquent dans les forets. A. Paris. M. DCC. LXIV, I et II.
— Du transport, de la conservation et de la force des bois. A. Paris MDCCLXVII.
— La Physiques des Arbres pour servir introduction au Traité complet des Bois et des forets. A. Paris MDCCLVIII. I & II.
— Traité de la conservation et de la force des bois. Paris 1780.
MUSSCHENBROECK, H.: Introductio ad philosophiam naturalem. Ludguni Batavorum 1762. Tom. I.
NEWLIN, J. A. & WILSON, THOMAS R. S.: Mechanical properties of woods grown in U.S.A. Washington 1917.
PERONNET: Oeuvres de Peronnet. Tome I. Mémoire sur les pieux et pilotis. 1798.
PFEIL, FRIEDRICH WILHELM LEOPOLD: Vollständige Anleitung zurBehandlung, Benutzung und Schätzung der Forsten. Züllichau 1820. I. Band.
PACCINOTTI et PERI: Il cimento. III. 1845.
WINN, WREN: Timber and their uses. London 1919.

III. Puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimus ja sen tulokset.

Käsite, puun ominaisuudet, on aikojen kuluessa muuttunut. Edellä on (siv. 22) mainittu, että Duhamel du Monceau erotti seuraavat 7 ominaisuutta: 1) puun hygroskoopisuus, 2) puun uppoaminen, 3) kuivan puun vedenotto ilmasta, 4) puun tiheys l. tiiveys, 5) kovuus, 6) halkeavaisuus ja 7) lujuus, jota vastoin Nördlinger'illä vastaava lukumäärä oli 14, niin seuraavat: 1) puun anatominen rakenne, 2) puun hienosyisyys, 3) puun väri, 4) puun haju, 5) puun lämmönjohtokyky, 6) puun kyky imeä ja haihduttaa vettä ja vesihöyryä, 7) puun ominaispaino l. tiheys l. tiiveys, 8) kovuus, 9) halkeilevaisuus, 10) kutistuminen, painuminen, kieroutuminen, 11) kimmoisuus (elastisuus), 12) notkeus ja sitkeys, 13) lujuus ja 14) puun kemiallinen kokoomus. Nördlinger'in ja'oitus on sittemmin tullut kirjallisuuteen ja säilynyt siinä miltei koskemattomana meidän päiviimme asti. Kaikkia yllä-lueteltuja ominaisuuksia kutsuu Nördlinger yhteisellä nimellä puun teknillisiksi ominaisuuksiksi. Näiden ominaisuuksien tarkempaan järjestelmään saattaminen on luettava Exner'in (Franz Wilhelm) ansioksi, jonka järjestelmä oli seuraava:

I. Puun ulko-muoto-ominaisuudet:

1) Puun väri;
2) Puun kiilto;
3) Puun hienosyisyys;
4) Puun tekstuuri;
5) Puun haju.

II. Puun aineellista tilaa osottavat ominaisuudet:

6) Ominaispaino;
7) Vesipitoisuus;
8) Ko'on muutokset;
9) Vesipitoisuuden ja ko'on muutosten seuraamukset.

III. Puun mekaanillis-teknilliset ominaisuudet:

10) Lujuus ja elastisuus;
11) Taipuvaisuus ja sitkeys;
12) »Varoituskyky» (Warnfähigkeit);
13) Halkeavaisuus;
14) Kovuus.

Ylläolevista enemmän tai vähemmän yksityiskohdissa poikkeavat ja'oitukset voidaan huoletta sivuuttaa. EXNER'in jaoituksella on merkityksensä siinä suhteessa, että se ensikerran asetti puiden ominaisuudet, joiden lukumäärää monet tekijät ovat NÖRDLINGER'in jälkeen lisänneetkin, tieteellisesti pätevään, johdonmukaiseen järjestelmään. EXNER'in järjestelmä loi myös sopivan pohjan puun teknillisten ominaisuuksien käsittelylle, sillä sen kautta tultiin käsittelemään yhdessä niitä ominaisuuksia, jotka olivat sukua toisilleen. NÖRDLINGER'in esitys perustuu suoranaisesti havaintoihin ja kokeisiin. Siinä, missä ei omia havaintoja ole käytettävissä tai missä niitä on liika vähän, siteerataan muiden, pääasiallisesti DUHAMEL DU MONCEAU'n, CHEVANDIER'in ja WELTHEIM'in, TH. HARTIG'in, KARMARSCH'in y.m. havaintoja sekä muodostetaan numerojen perusteella kukin johtopäätös. Tällä tavalla välttyy NÖRDLINGER joutumasta kehään, johon puiden ominaisuuksia käsiteltäessä useimmissa varsinkin saksalaisissa teoksissa on jouduttu, kehään, jossa puun ominaisuudet lopulta joutuvat riippuviksi toisistaan, esim. paino väristä, väri painosta, hienosyisyys painosta, paino hienosyisyydestä j.n.e.; jolloin lopulta ei ole voitu todeta muuta kuin se, että puun ominaisuudet ovat riippuvaiset toisistaan. Myös EXNER on suureksi osaksi välttynyt edellä mainitusta »kuolemanrenkaasta», ja senvuoksi tuleekin EXNER'in luomalla järjestelmällä siinä muodossa kuin sen JANKA on kehittänyt aina olemaan metsäteknologian alalla perustava merkitys.

EXNER'in järjestelmän pohjalle, vaikka aivan itsenäisenä ja ilman sen edelläkäyvää tuntemusta, ovat syntyneet ameriikalaiset järjestelmät, joista erikoisesti on mainittava uusimpana Wisconsin'in yliopiston professorin ja Madison'in laboratorin tutkijan ARTHUR KOEHLER'in käyttämä, jossa puun ominaisuudet ovat seuraavat:

I. Puun fysikaaliset ominaisuudet:

1) Puun paino;
2) Puun vesipitoisuus;
3) Puun kutistuminen ja laajeneminen;

4) Puun kokoonlysähtäminen;
5) Puun sähkön ja lämmönjohtokyky;
6) Puun haju ja maku;
7) Puun väri.

II. Puun mekaaniset ominaisuudet:

8) Puun lujuus;
9) Puun sitkeys;
10) Puun elastisuus;
11) Puun halkeilevaisuus;
12) Puun kovuus;
13) Puun plastillisuus.

III. Puun kemialliset ominaisuudet.

Fysikaaliset ominaisuudet määrittelee KOEHLER seuraavasti: »aineen fysikaalisia ominaisuuksia ovat ne sen ominaisuudet, joiden ilmeneminen ei edellytä kemiallista muutosta aineessa», ja hänen määritelmänsä mekaanisista ominaisuuksista on: »raaka-aineen (material) mekaanisilla ominaisuuksilla ymmärretään niitä sen ominaisuuksia, jotka antavat sille mahdollisuuden vastustaa ulkonaisia voimia, jotka koettavat muuttaa sen kokoa ja muotoa.»

KOEHLER'in ja'oituksen kautta on metsäteknologian käsittely, kun mainittu tiede käsitetään sanan ahtaammassa merkityksessä, käynyt entistä yksinkertaisemmaksi. Huomattava on kuitenkin, että KOEHLER'in viimemainitusta määritelmästä saadaan sangen pienellä muutoksella se määritelmä, joka pääpiirteissään vastaa yleisesti lujuudelle käytettävää määritelmää. Jos määritelmään nim. lisätään, että on kysymys ulkonaisista ja sisäisistä mekaanisista voimista, joita KOEHLER, kuten hänen oma esityksensä selvästi osottaa, on tarkoittanut, niin silloin onkin lujuusmääritelmä valmis. Täten voidaankin KOEHLER'in mekaanisten ominaisuuksien sijalle asettaa sana: puun lujuus-ominaisuudet.

Mitä taas ryhmään I tulee, niin ovat siinä mainitut ominaisuudet ehdottomasti puun fysikaalisia ominaisuuksia. Mutta toiselta puolelta voidaan niitä sanoa mekaanisiksikin m.m. sen perusteella, että niiden tutkimus ja toteaminen tapahtuu mekaanista tietä ja mekaanisia apuneuvoja käyttäen. Sen vuoksi ei ole mitään sitovaa ja välttämätöntä syytä erottaa niitä eri ryhmään jälkimäisistä. Tästä syystä onkin seuraavassa annettu käsitteelle mekaanillis-teknillinen hieman eri merkitys

kuin ennen, siten, että *puun mekaanillis-teknillisillä ominaisuuksilla ymmärretään niitä teknillisesti merkityksellisiä puun (puu-aineen, puuraaka-aineen) ominaisuuksia, joiden toteaminen tapahtuu mekaanista tietä.*

Täten tulee näiksi ominaisuuksiksi luettavaksi EXNER'in II (6—9) ja III (10—14) eli KOEHLER'in I (1—5) ja II (8—13).

Kun seuraavan tarkoituksena on esittää metsäteknologisen tutkimuksen tutkimusmetodien tuloksia ja niiden kehitystä, niin on selvää, että seuraavassa käsitellään ainoastaan ne ominaisuudet, joiden tutkimuksesta on exaktisia tuloksia nim. seuraavat:

A. Puun paino.
B. Puun vesipitoisuus.
C. Puun lujuusominaisuudet.
D. Puun johtokyky.

Käytettyä kirjallisuutta:

DU MONCEAU, DUHAMEL: Op. cit.
NÖRDLINGER, H.: Op. cit.
EXNER, W. F.: Op. cit.
WOOD, W.: A Manual of the Natural History and Industrial Application of Timbers of Commerce. New-York, 1908.
KOEHLER, ARTHUR: The Properties and Uses of Wood. Prepared in the Extension Division of the University of Wisconsin. 1924.

A. Puun paino.

Puun painoerot huomattiin jo aikaisin käytännössä. Se, joka joutui liikuttelemaan saman puun eri osia tai kappaleita eri puulajeista, oppi jo aikaisin etsimään keveintä puuta. Edellä on (siv. 15) mainittu, kuinka esim. assyrialaisten ja babylonilaisten täytyi rakentaa korkeita rakennuksia ja kuinka he tällöin joutuivat sangen tarkoin arvostelemaan käyttämänsä rakennuspuun painoa. Paino onkin sellaisenaan hankaluutta tuottava ominaisuus ja esim. P r a e d i u m r u s t i c u m'issa (esitelty siv. 19) on jo jaettu puulajit niiden painon mukaan. Vasta sitten kun huomattiin, että painon perusteella voidaan arvostella muita puun ominaisuuksia, alettiin puun painoa tarkemmin tutkia.

Jos ajatellaan ainoastaan soluseinien painoa, niin saadaan sille määrätty luku, joka kuitenkaan ei mitenkään kuvaa sitä, kuinka painava kukin puulaji on. Asianlaita on nim. se, että täten saatu luku on kaikille puulajeille sama, kaikkien puulajien soluseinien ominaispaino on nim. 1.56. Tämän luvun on ensiksi esittänyt Sachs ja on tätä seikkaa myöhemmin tutkinut Hartig, joka on tehnyt tutkimuksia tammelle, pyökille, koivulle ja kuuselle, ja huomannut Sachs'in luvun oikeaksi, jotapaitsi hän on todennut, että sekä pintapuun että sydänpuun paino on sama. Tässä yhteydessä mainittakoon vielä, että selluloosan ominaispaino on Ekman'in mukaan 1.21. Kuitenkin on mainittava, että jo du Monceau ja Nördlinger olivat selvillä soluseinien painon konstanttiudesta, vaikka he arvioivat sen pienemmäksi, nim. 1.40—1.50. S. Rutherford pääsi vielä tarkempiin arvoihin, nim. 1.462—1.534, ainoastaan mekaanisesti jakamalla puuta.

Jo Buffon'in ajoista asti on lausuttu puun paino ominaispainoa osottavalla luvulla. Kuten edellä on mainittu käytti du Monceau sille nimitystä densité, joka taas täydellisesti vastaa Nördlinger'in käyttämää nimitystä Dichte. Myöhemmin on tullut käytäntöön nimitys ominaispaino (Spezifisches Gewicht, Specific Grafity).[1])

[1]) Eneroth kutsuu (väärin) lukua 1.56 puun ominaispainoksi.

Puun ominaispaino määrätään siis teoreettisesti siten, että ensin esim. punnitaan joku määrätty kuutiomäärä puuta, ja sen jälkeen yhtä suuri kuutiomäärä vettä, jonka jälkeen edellistä painoa osoittava mittaluku jaetaan jälkimmäistä osottavalla.

DUHAMEL DU MONCEAU käytti tähän tarkoitukseen samanlaista vaakaa kuin ominaispainojen mittaukseen yleensä. Tällaisen vaa'an avulla voidaan puupalanen punnita ensin ilmassa s.o. astiassa, jossa ei ole vettä, ja kun sen jälkeen astia täytetään vedellä, niin laskeutuu vaa'an punnuspuoli alas. Tästä syystä lisätään vesiastian puoleiseen vaakakuppiin se määrä punnuksia, joka tarvitaan tasapainon jälleen saavuttamiseksi. Koska kappale vedessä punnittuna painaa sen verran vähemmän kuin ilmassa, mitä sen syrjäyttämä vesimäärä painaa, niin on vesiastian puoleiseen vaakakuppiin asetettujen punnusten paino yhtä suuri kuin punnitun puukappaleen syrjäyttämän vesimäärän paino. Kun siis vesiastian puoleisten punnuksien paino jaetaan toisen vaakakupin punnuksien painolla, saadaan luku, joka osottaa puun ominaispainoa.

Tällä tavalla voidaan kuitenkin määrätä ainoastaan sellaisten kappaleiden paino, jotka vain pienessä määrin imevät itseensä vettä. Mutta kuiva puukappale ja varsinkin kuiva pintapuukappale imee itseensä nopeasti vettä ja senvuoksi tulee puuaineen syrjäyttämä vesimäärä näyttämään pienemmältä kuin se todellisuudessa on. Nimittäjä puuaineen ominaispainoa osoittavassa murtoluvussa tulee siis oikeata arvoa pienemmäksi ja siitä on seurauksena, että ominaispaino tulee suuremmaksi kuin se todellisuudessa on. Tämän epäkohdan poistamiseksi voideltiin puu alkuaan öljyllä tai kollodiumilla.

Eräästä NÖRDLINGER'in tekemästä kokeesta selviää, että vaikka puu onkin öljytty, niin voi se veteen upotettuna imeä itseensä siksi paljon vettä, että ominaispainon määräämisessä voidaan tehdä aivan helposti parin % erehdys. Sitäpaitsi aiheuttaa puun öljyäminen tai sen sivelеminen kollodiumilla puun kuutiosisällön lisääntymistä, joka seikka myös, kun pieniä koekappaleita käytetään, aiheuttaa virheellisyyksiä.

Jonkun verran parannettu oli SMALIAN'in tapa määrätä puun ominaispaino. Hän käytti ensinnäkin paljon suurempia koepalasia kuin DUHAMEL DU MONCEAU ja menetteli muuten seuraavalla tavalla.

Ensin hän punnitsi puukappaleen mahdollisimman tarkalla vaa'alla, upotti sen jälkeen puupalasen veteen ja määräsi, kuinka paljon vesi astiassa upottamisen kautta oli kohonnut. Täten sai hän tietää, kuinka suuri syrjäytetty vesimäärä oli ja koska veden ominaispaino on 1.0, tiesi hän samalla kertaa syrjäytetyn vesimäärän painon. Tämän jälkeen otti hän

puukappaleen heti vedestä ylös ja punnitsi sen uudelleen. Tällöin huomattiin säännöllisesti, että puukappale vedestä nostettuna painoi enemmän kuin ennen veteen laskemista. Kun nyt vettä oli imeytynyt puuhun, niin oli siis todellisuudessa puun syrjäyttämä vesimäärä tullut arvioitua liian suureksi. Kun SMALIAN tiesi, kuinka paljon puun paino oli lisääntynyt veteen laskemisen jälkeen, niin hän myös samalla kertaa tiesi, kuinka suuri oli tätä painoa vastaava vesikuutiomäärä ja vähennettyänsä sen mittarinsa osottamasta vesimäärästä, hän mielestään sai tietää puun syrjäyttämän vesimäärän oikean volyymin. Mitä tähän SMALIAN'in käyttämään tapaan tulee, niin on se itse asiassa harhaan johtava, vaikka se luonnollisesti onkin tarkempi kuin DUHAMEL DU MONCEAU'n käyttämä tapa. Huomattava on nim., että puu vettyessään paisuu ja että tämä paisuminen ei suinkaan tapahdu samassa suhteessa kuin puuhun imeytyvän vesimäärän painon lisääntyminen. Näin ollen ei siis myöskään SMALIAN'in imeytyvän vesimäärän volyymiin perustuva korrektio ollut täysin oikea.

Joka tapauksessa on myönnettävä, että SMALIAN'in menettelytapa merkitsi suurta edistysaskelta ja saatiin sen kautta aika hyviä lukuja, varsinkin silloin kuin veteen upottaminen toimitettiin erittäin nopeaan.

TH. HARTIG on parantanut menettelytapaa rakentamalla ensiksi varsinaisen yhtyvien astioiden lakiin perustuvan xylometrin. Kun vesi kummassakin yhtyvässä astiassa nousee yhtä korkealle, niin voitiin yhdistämällä xylometriin yhtyväksi astiaksi lasiputki suuremmalla tarkkuudella määrätä vedenpinnan kohoaminen.

Lasiputki varustettiin skaalalla, josta voitiin tarvittavat vesikuutiomäärät suoraan lukea.

CHEVANDIER ja WERTHEIM taas käyttivät mittauksiaan varten elohopeaa syystä, että se ei voinut imeytyä puuhun. Mutta tämä menettelytapa ei myöskään ole osottautunut tarkoituksenmukaiseksi, sillä elohopea ei asetu tarkalleen puun pintaan kiinni, vaan jää sen ja puun pinnan välille ilmarakkuloita.[1])

NÖRDLINGER taas menetteli seuraavalla tavalla. Hän antoi sorvata puusta mahdollisimman tarkasti sylinterinmuotoisia kappaleita. Kun kappaleiden läpileikkauspinta ei kuitenkaan pysynyt ympyränmuotoisena, niin mittasi NÖRDLINGER aina kaksi toisiansa vastaan kohtisuoraa diametria ja otti näistä keskiarvon. Eri korkeuksilla olevien diametrien vaihtelut otti NÖRDLINGER huomioon kuutioimalla koekappaleen sopivina pätkinä. Jos taas oli kysymyksessä ilmakuivan puun ominaispainon mää-

[1]) Tätä tapaa on myös ruotsal. KINNMAN käyttänyt.

rääminen, niin oli luonnollisesti puun halkeilemisen kautta tapahtunut volyymin lisäys otettava huomioon. Tämä tapahtui siten, että puukappale uudestaan sorvattiin entisiin mittoihinsa, jonka jälkeen sen kuutiosisällys määrättiin entisellä tavalla.

Kun puu kaadetaan, haiduttaa se heti vettä poikkileikkauspintansa kautta. Jotta saataisiin tietää puun tuore paino eli puun paino kasvaessaan, on puu punnittava heti kaadon jälkeen. Kun haihtuminen tapahtuu poikkileikkauspintojen kautta, niin on luonnollisesti haihtumisprosentti suurempi lyhyissä kuin pitkissä puukappaleissa. Selvää on siis, että saadaan sitä tarkempi tulos mitä pitempiä koekappaleita ollaan tilaisuudessa käyttämään. Tästä syystä NÖRDLINGER käyttikin mahdollisimman pitkiä koekappaleita. Kun nyt kuitenkaan punnitsemista ei voida heti kaadon jälkeen suorittaa, niin on keksittävä keinoja haihdunnan vuoksi syntyvien erehdysten välttämiseksi. NÖRDLINGER ruiskutti vettä puun kumpaankin päähän ja kun vesi talvella jäätyi, niin syntyi puun kumpaankin päähän haihduntaa vähentävä jääkerros. Kesällä taas peitti NÖRDLINGER puun molemmat päät savella. Sitäpaitsi leikkasi NÖRDLINGER ennen punnitusta jonkun määrän puun kummastakin päästä pois.

Kokeisiinsa käytti NÖRDLINGER puukappaleita, joiden läpimitta oli 40 mm. ja jotka olivat 150 mm. pitkiä.

Kuten ylläolevasta näkyy, perusti siis NÖRDLINGER ominaispainon määräämistapansa sellaisten koekappaleiden käyttöön, joiden kuutiosisällys voitiin sangen suurella tarkkuudella määrätä.

NÖRDLINGER'in tapa lähentelee suuresti oikeaa, ja ainoa parannus, mikä siihen vielä 1880-luvulle mennessä voitiin tehdä, oli se, että koekappaleiden muotoa muutettiin. Ruvettiin nim. käyttämään koekappaleita, jotka olivat suorakulmaisen särmiön muotoisia, jonka särmillä oli määrätty pituutensa ja lopuksi koekappaleita jotka olivat kuution muotoisia, sillä tällaisen kappaleen mitat muuttuivat kaikkein vähimmän ja tällainen kappale voitiin myös kaikkein helpoimmin muodostaa. Myös on muutosta tehty siinä, että on pyritty käyttämään suuria koekappaleita, sillä pieni koekappale voi antaa poikkeuksellisen ja erehdyttävän tuloksen.

Käytännöllisiä tarkoituksia varten on usein tarpeellista tietää puun ominaispaino kuorineen ja tässä suhteessa on ollut ja on yhä edelleenkin olemassa suuria vaikeuksia. Kuoren rosoinen pinta tekee mahdottomaksi puun tarkan mittauksen ja senvuoksi on tässä tapauksessa täytynyt yhä vieläkin turvautua xylometriseen menettelytapaan käyttäen SMALIAN'in korjausta, joka sittenkin antaa lähinnä oikean tuloksen. On kuitenkin

huomattavaa, että kuorimatonta puuta usein käsitellään irtomittaisen kuution perusteella ja tällöin on tullut kysymykseen ainoastaan puun pinoamistapa, joka on täytynyt tarkoin määritellä. Tavallisinta on, että puut pinotaan määrätynmittaiseen vähintäin 1 m³ irtomittaa käsittävään kehykseen.

Puun painosta puhuttaessa on aina etukäteen määriteltävä puun kosteusaste. Puussa olevasta vesimäärästä riippuu nim. ensi sijassa puun paino. Jotta saataisiin toisiinsa verrannollisia lukuja, on täytynyt sopia määrätyistä kosteusasteista ja täten erotetaankin seuraavat eri kosteusluokat puuaineen ominaispainoa tutkittaessa.

1) absoluutisesti kuiva puu, jolla ymmärretään puuta, josta vesi on haihdutettu kuumentamalla puu niin korkeaan lämpötilaan, että siitä vesi haihtuu pois, ilman että puussa ei kuitenkaan vielä ole tapahtunut mainittavia kemiallisia prosesseja;

2) kuiva puu, jolla tarkoitetaan puuta, joka on saanut kuivua huoneen lämmössä niin kauan, ettei puussa enää synny kuivumisesta johtuvia muodon ja ko'on muutoksia. Tällöin sisältää puu noin 8—12 % vettä; [1])

3) ulkokuiva puu, jolla ymmärretään puuta, joka on ainakin yhden kuivan vuodenajan kuivanut pinossa tai katoksessa. Tämä sisältää tavallisesti noin 15—30 % vettä;

4) vastakaadettu puu, jolla ymmärretään puuta, josta ei sanottavasti ensinkään ole haihtunut vettä ja joka siis sisältää sen vesimäärän, mikä puussa metsässä kasvaessaan on.

1. Absoluutisesti kuivan puun ominaispaino.

Jos tahdotaan tarkalleen tietää, mitä puun puuaine sellaisenaan painaa, niin on siitä poistettava vesi. Tämä tapahtuu, kuten jo edellä on mainittu, haihduttamalla. Toiselta puolen on kuitenkin huomattava, että puun kuumentaminen aiheuttaa puussa kemiallisia reaktioita, ja että puusta näin ollen, jos sitä kuumennetaan liika suureen lämpömäärään, haihtuu muutakin kuin vettä. Jos ajatellaan, että puukappaleella on vähänkin suurempi koko, niin on lämpömäärä kuumennettaessa aivan toinen puun pinta- kuin sisäosissa, joten pintaosat tulevat kuumennetuiksi enemmän kuin sisäosat.

Tieteellisiä tarkoituksia varten, mainittakoon tässä vain esimerkkinä puun kemiallinen tutkimus, on tarpeellista tietää puun ominaispaino

[1]) Europal. puulajit.

absoluutisesti kuivana. Tämä on välttämätöntä, jos esim. tahdotaan tutkia, kuinka monta % puun painosta on kutakin puun eri hajaantumistulosta.

Edelleen on huomattava, että puu ei kauan pysy absoluutisesti kuivana, sillä absoluutisesti kuiva puu imee sangen nopeasti kosteutta ilmasta. Sen kyky imeä kosteutta ilmasta on verrannollinen puuta ympäröivän ilman kosteusmäärään ja kosteuden imemiskyky riippuu hyvin paljon siitä, kuinka paljon puussa on esim. sokeria, kumia, tärkkelystä, munanvalkuaisainetta y.m.

Kaikkien niiden vaikeuksien voittaminen, mitä yllä on esitetty, on ollut sangen vaivalloista. Puun ko'on haitallinen vaikutus on kaikkein helpommin poistettu sillä, että kuivattava puu on hienonnettu hienoiksi lastuiksi, tai on käytetty pieniä höylänlastuja tai sahanpurua. Ja liika kuumuus taas on aikoinaan vältetty siten, että puu kuumennettiin ainoastaan 70° C asti, jonka jälkeen puu säilytettiin mahdollisimman kuivassa paikassa. Näin menetteli DUHAMEL DU MONCEAU. CHEVANDIER'in ja WERTHEIM'in menettelytapa taas oli seuraava: puut asetettiin ensiksi kuivaushuoneeseen, jonka lämpömäärä oli 40—50° C. Sen jälkeen hienonnettiin puu sahanpuruksi, joka asetettiin retorttiin 140° C lämpötilaan. Tässä tulivat kuitenkin CHEVANDIER ja WERTHEIM tehneeksi sen virheen, joka jo edellä on mainittu nim., että puun lämpötila kohotettiin liika suureksi, jolloin puussa ehdottomasti on täytynyt tapahtua kemiallista hajaantumista, sillä jo 150° C lämpömäärässä on tavallisen hiiltopuun tislanne 2 % kuivan puun painosta. Paremmin onnistui giesenilläinen WERNECK, joka jo 1808 julkaisi tutkimuksen puun ominaispainosta. Hän valmisti puusta pieniä kuutioita, joiden antoi ensin kuivaa kuivaushuoneessa, jonka lämpömäärä oli 50° C. Sen jälkeen kuivasi hän kuutiot lämmittämällä ne vähitellen 107° C, jatkaen tätä lämmitystä siksi kauan aikaa, lämpömäärää kuitenkaan kohottamatta, kunnes puun paino ei enää laskeutunut. Nämät kuutiot jakoi hän sen jälkeen vielä 4 osaan ja asetti ne kuivumaan suljettuun lasiastiaan, jonka piti sisältää aivan kuivaa ilmaa.

Tätä nykyä on VON WERNECK'in menettelytapa pääasiallisesti käytännössä. Puu kuivataan 98—110° C lämpötilassa siksi, kunnes sen paino lakkaa laskeutumasta ja tämän jälkeen asetetaan puu exsikkaatoriin, jonka ilma pidetään rikkihapon kautta kuivana.

Puun painolla absoluutisesti kuivana on ainoastaan merkityksensä silloin kuin sen paino samalla kertaa jossain muussa kosteusasteessa tunnetaan. Tavallisesti tunnetaan puun paino ilmakuivana ja määrätään

ilmakuivan ja absoluutisesti kuivan puun ominaispainojen suhde. Tällaisia suhdelukuja ovat m.m. Bergström & Wesslen esittäneet.

Niillä luvuilla, mitä muuten teoksissa on esitetty absoluutisesti kuivan puun painosta, ei ole kovinkaan suurta merkitystä, kun ei ole mainittu, mitä puu on jossain toisessa kosteustilassa painanut. Mainittakoon kuitenkin, että absoluutisesti kuivan puun ominaispainoa osottavat luvut eivät vaihtele läheskään niin paljon havupuilla kuin lehtipuilla. Niinpä esim. mänty absoluutisesti kuivassa tilassa on sangen vähän raskaampaa kuin kuusi ja samoin esim. lehtikuusi ja hopeakuusi voivat absoluutisesti kuivassa tilassa olla jokseenkin yhtä raskaita. Lehtipuiden ominaispaino absoluutisesti kuivassa tilassa vaihtelee sitävastoin sangen paljon.

2. Kuivan puun paino.

Edellä määriteltiin kuivaksi puuksi puu, joka sisältää 8—12 % vettä. Tämän vesipitoisuuden saavuttaa puu kuivuessaan 1 vuoden vajassa, jonka lämpömäärä on 0—10° C. Selvää on kuitenkin, että esim. tavallisessa asuinhuoneessa puu saavuttaa huomattavasti alemman kosteusasteen. Asuinhuoneessa käytetyn tai säilytetyn puun kosteusmäärä on noin 8 %. Edelleen on selvää, että eri puulajien ja eri kokoisten puiden vesipitoisuus jää eri suureksi. Niinpä esim. suurista puulajeista, esim. amerikalaisista otetut puukappaleet voivat (Koehler) sisältää ainoastaan 4—8 % vettä ja samantapainen voi vesipitoisuus olla esim. keskuslämmityshuoneissa säilytetyissä puissa. Tutkimustapaan nähden merkitsee tämä sitä, että koekappaleen vesipitoisuus on aina tunnettava.

Kuten edellä mainittiin, on siis n.k. kuivan puun kosteuspitoisuus sangen laajoissa rajoissa vaihteleva, vaihdellen yleensä 8—12 %, mutta siitä huolimatta on käsite, kuiva puu, jokseenkin tarkoin määriteltävissä. Määrittely tapahtuu parhaiten eräiden käytännöllisten huomioiden avulla. Tärkein on se, että puu kuivalla asteellaan säilyttää käytännöllisiä tarkoituksia varten tyydyttävästi muotonsa ja kokonsa. Siitä voidaan valmistaa huonekaluja, jotka kestävät liimauksissa, siitä voidaan valmistaa lattioita, jotka eivät rakoile, sisäkattoja, ovia, akkunoita j.n.e. Itse asiassa onkin tämä suuri kosteusmariginaali riippuvainen puun erilaisesta rakenteesta ja siitä, kuinka paljon puu sisältää inkrustoituja aineita, puulajista, puunosasta j.n.e. Jos esim. verrataan toisiinsa kappaletta huonekuivaa koivupuuta ja kappaletta huonekuivaa mäntypuuta, niin nämä samoissa olosuhteissa kuivuttuaan sisältävät eri määrän vettä.

Sama on asianlaita, jos on verrattavana toisiinsa kappale männyn sydänpuuta ja kappale männyn pintapuuta. Näin ollen ei olekaan teknillisiä tarkoituksia varten aivan välttämätöntä, että 2 erilaista tutkittavaa puukappaletta sisältää yhtä paljon vettä, koska teknillisesti kuitenkin on mahdollista sangen tarkoin määrätä, milloin puu on teknillisessä merkityksessä kuiva. Sellaista puuta, jota tässä kutsutaan kuivaksi puuksi, kutsutaan myöskin teknillisesti kuivaksi puuksi. Tässä yhteydessä mainittakoon myös, että vanhemmat saksalaiset kirjailijat ovat sille antaneet nimen ilmakuiva (lufttrocken) puu, joka nimi myös esiintyy EXNER'in edellämainitussa teoksessa. Tämä nimi on kuitenkin harhaanjohtava senvuoksi, että sillä helposti voi luulla ymmärrettävän ulkoilmassa kuivatettua puuta, joka ei suinkaan ole asianlaita.

Sen johdosta, että puu sangen helposti voidaan saattaa kuivaan tilaan, on kuivan puun painoa sangen laajasti tutkittu ja se, mitä tiedetään puiden ominaispainojen la'eista, on pääasiallisesti saatu selville n.k. kuivan puun tutkimuksen perusteella.

Tässä tutkimustyössä, joka on suoritettu vuosisatojen aikana, on tahdottu vastata mitä erilaisimpiin kysymyksiin ja senvuoksi esitettäköön seuraavassa ne tärkeät kysymykset, joihin tällä alalla on tahdottu vastausta löytää.

Ne kysymykset, joihin tämä tutkimustyö on etsinyt vastausta kohdistuvat allamainittujen seikkojen vaikutukseen kuivan puun painoon.

a. Missä osissa maapalloa ovat raskaimmat ja missä keveimmät puut?
b. Mitä vaikuttaa puun painoon sen horisontaalinen leveneminen?
c. Puun vertikaalinen leveneminen.
d. Maanlaatu.
e. Puun asema metsikossa.
f. Ikä.
g. Puun eri osat 1. toisin sanoen, mistä osasta puuta kysymyksen alainen kappale on otettu.
h. Kaatoaika.
i. Puun vikanaisuus.
j. Solujen väriaine- ja hartsipitoisuus.
k. Puun uitto.

a. Mitä tulee kysymykseen siitä, missä osissa maapalloa yleensä kasvavat raskaimmat ja missä osissa keveimmät puut, niin mainitsee jo NÖRDLINGER, että lämmin ilmanala on yhteydessä puiden painon kanssa siten, että yleensä lämpimässä ilmanalassa kasvaa raskaita puita. Tämä pitää paikkansa ymmär-

rettynä siten, että troopillisista seuduista ovat yleensä kotoisin raskaimmat puulajit mitä tunnetaan. Samoin väittää Nördlinger olevan asianlaidan myöskin Saksan rajojen sisäpuolella niin, että sielläkin raskaammat tammet tavataan maan eteläosissa. Edelleen viittaa Nördlinger Duhamel du Monceau'n tutkimuksiin tammen painosta Ranskan eri osissa. Niinpä painoivat burgundilaiset tammet Duhamel du Monceau'n mukaan 0.753—0.785, champagnelaiset 0.800, bretagnelaiset 0.829, saintongelaiset 0.810—0.885, ja provencelaiset 0.928—1.085.

Tämä Nördlinger'in ja tavallaan myöskin jo Duhamel du Monceau'n lausuma laki on sen jälkeen kau'an aikaa pysynyt ainoana oikeana. Mutta pian kuitenkin osotti tarkempi tutkimus, että troopillisissa maissa voitiin myös löytää keveitä puulajeja, ja että esiintyi tapauksia, jolloin sama puulaji troopillisissa seuduissa voi olla keveämpi kuin kylmemmässä ilmanalassa. Varsinkin sen tutkimuksen kautta, jonka Fowke v. 1855 ja 1862 toimitti, huomattiin, etteivät puut yleensä ja siis asiaa suurena keskimääränä katsoen ole troopillisissa maissa sen raskaampia kuin lauhkean ilmanalan maissa, vaan, että ero on siinä, että raskaimmat puulajit samoin kuin myöskin keveimmät löydetään juuri troopillisilta seuduilta. Ja tätä nykyä ollaankin sitä mieltä, että mitä lämpimämpään ilmanalaan siirrytään, sitä suurempia ominaispainon äärimmäisyysrajojen vaihteluita voidaan yleensä tavata.

b. Puun horisontaalinen leveneminen. Vanhimmat tutkijat olivat tässä suhteessa sitä mieltä, että havupuut yleensä käyvät sitä raskaammiksi mitä pohjoisemmassa ne kasvavat ja että joku määrätty lehtipuulaji myöskin on sitä raskaampi mitä etelämmässä se kasvaa. Tämä teoria oli etualalla vuoteen 1909, jolloin sen kumosi Münchenin yliopiston professori Heinrich Mayr. Hän eroitti puulajien esiintymiseen nähden seuraavat eri levenemisalueet:

Keinollinen levenemisalue	III. K. kylmempi kuin luonnollinen levenemisalue.
	II. K. kylmempi kuin optimum.
Luonnollinen levenemisalue	I. optimum.
	II. W. lämpimämpi kuin optimum.
Keinollinen levenemisalue	III. W. lämpimämpi kuin luonnollinen levenemisalue.

Mayr'in laki kuuluu, että jokainen puulaji, kun mennään optimista (I) II K:ta ja III K:ta kohti sekä kun mennään optimista (I) II W:tä ja III W:tä kohti, tulee keveämmäksi. Tämän luonnonlain on Mayr to-

distanut tutkimalla kuusia Baierin kylmimmillä ja lämpimimmillä kasvupaikoilla suunnilleen samanlaisella maaperällä. Sen jälkeen on MAYR täydentänyt näitä tutkimuksia hyvin monista osista maapalloa keräämällä aineistolla ja huomannut, että hänen lausumansa luonnonlaki pitää paikkansa.

Samaa asiaa on tutkinut myös ruotsalainen WIJKANDER ja tehnyt sen huomion, että Keski- ja Etelä-Ruotsin puut yleensä ovat raskaampia kuin Pohjois-Ruotsin. Sitävastoin eivät WIJKANDER'in tutkimukset osota mainittua eroa Keski- ja Etelä-Ruotsin välillä.

Kun arvostellaan näitä molempia tutkimuksia, on huomautettava, että on hyvin epävarmaa, ovatko MAYR'in ja WIJKANDER'in tutkimat puut samalta boniteetiltä, jolta niiden välttämättömästi täytyy olla, jotta tutkimuksilla olisi jotakin arvoa. Tämän kirjoittaja on tutkinut tässä suhteessa kuivilta kanervakankailta kaadettuja mäntyjä Etelä-Suomesta (Vihti), Keski-Suomesta (Tuusjärvi) ja Pohjois-Suomesta (Kolari). Tutkimukset suoritettiin siten, että tutkittava puukappale otettiin ensimmäisen latvatukin päästä, siis noin 6 m. korkeudella maasta ja sellaisista puista, joissa latvusosa ei vielä tällä korkeudella ollut alkanut. Sitäpaitsi valittiin suunnilleen samanmittaisia puut, ollen puiden läpimitta 8—10 tuumaa. Sen lisäksi merkittiin puiden ikä. Etelä-Suomessa kasvaneet puut olivat luonnollisesti säännöllisesti nuorempia kuin Pohjois-Suomessa kasvaneet. Kun puut luokiteltiin iän mukaan, ei siis saatu toisiinsa verratuksi samanikäisiä puita, vaan käytettiin puun ikämääräyksessä yksikkönä, ei vuotta, vaan nuorennusaikaa, joka otaksuttiin Vihdissä 20 vuodeksi, Tuusjärvellä 30 vuodeksi ja Kolarissa 50 vuodeksi ja otaksuttiin sellaiset puut, joiden ikä sisälsi yhtä monta nuorennusaikaa, kuuluvan samaan ikäluokkaan. Jos siis esim. puun ikä vastasi 4 nuorennusaikaa, oli se Vihdissä 80 vuotta, Tuusjärvellä 120 vuotta ja Kolarissa 200 vuotta. Nämä iät oikeastaan käytännössä merkitsevät sitä, että puu tässä iässä oli kussakin paikassa saavuttanut vähintäin 8 tuuman koon.[1]) Huomattava on, että Kolarin luku, 200 vuotta on sangen alhainen, mutta puu on otettu metsikosta, joka on saanut rauhassa kasvaa (Hyötymännikkö). Kaikkiaan tutkittiin 50 puun sydänpuuleikkaus. Tulokset ovat seuraavat:

Kolari	0.48—0.52
Tuusjärvi	0.49—0.58
Vihti	0.53—0.55

[1]) 6 m korkeudella.

Nämä luvut eivät anna mitään lopullista vastausta kysymykseen, sillä niiden mukaan näyttää vihtiläisten puiden paino korkeimmalta myöskin keskimäärään nähden. Jokseenkin varmaa kuitenkin on, että suurempi tutkimusmateriaali olisi osoittanut keskisuomalaisen puun raskaimmaksi tutkituista.

Kysymys ilmanalan vaikutuksesta puun painoon on siksi laaja ja vaikeasti tutkittava, ettei sitä toistaiseksi voida pitää Mayr'in luonnonlailla ratkaistuna. Tässä asiassa voidaan ainoastaan asioiden nykyisellä kannalla ollen lausua hypoteeseja ja tämän kirjoittaja on puolestaan taipuva uskomaan, että sekä havu- että lehtipuut ovat raskaimpia siellä, missä ne muodostavat kauniimman ja oksattomimman rungon. Näin ollen olisi esim. Keski-Suomen mänty raskaampaa kuin maamme eteläosien karkeaoksaiset männyt ja myös raskaampaa kuin Lapin mänty, jossa tosin oksat eivät ole karkeat, mutta joka on kuitenkin oksaisempaa kuin keskisuomalainen mänty.

c. Vertikaalisen levenemisen vaikutus puun painoon näyttää ensi silmäyksellä olevan melkein sama asia kuin maantieteellisen levenemisenkin. Tavataanhan korkeata vuorta ylös noustaessa sen rinteellä pienoisko'ossa tärkeimmät kasvuvyöhykkeet. Mutta todellisuudessa ei kuitenkaan näin ole asian laita. Vanhemmat tutkijat, kuten Werneck, ovat kuitenkin sitä mieltä, että vuoristoseuduissa saadaan sitä raskaampaa puuta mitä korkeammalle tullaan. Mutta toiselta puolen ei tässä suhteessa ole esim. esitetty mitään optimiteoriaa, vaikka hyvin suuri osa puun ominaispainotutkimuksista on suoritettu seuduissa, joissa olisi ollut aivan erikoisen helppo tutkia tätä asiaa. Ja toiselta puolelta pitäisi kaikista tähän asti tehdyistä tutkimuksista, jos lakimääräisyyttä tässä suhteessa olisi olemassa, helposti voitaman tämä asia päättää. Niin ei kuitenkaan ole asian laita, vaan on osottautunut, että tässä suhteessa ei ole mitään selvää lakimääräisyyttä. Ainoastaan siinä tapauksessa, että puu on läheltä lumirajaa, tai että se on viljavista laaksoista, on sen ominaispaino keveämpää kuin rinteillä, mutta varsinaisella rinteellä, jossa metsä kuitenkin pääasiallisesti kasvaa, ei yleensä voida mitään huomattavaa eroa todeta. Voidaan sanoa tähänastisten tutkimusten tuloksena, että puun vertikaalinen leveneminen siis ainoastaan äärimmäisyystapauksissa vaikuttaa huomattavasti puun painoon.

d. Maanlaadun vaikutusta puun painoon on paljon tutkittu. Nördlinger mainitsee m.m. tässä suhteessa tehneensä seuraavia huomioita: »yleensä luullaan, että sangen hedelmällisellä ja ravintorikkaalla maalla kasvava puu tuottaa raskasta ja hyvää puuainetta,

joten siinä on samalla kertaa sekä vahvat soluseinät että vahvat solumembraanit. Tämän olettamuksen harhaanjohtavaisuutta todistavat m.m. tutkimani puksipuun painosuhteet, joka kasvoi sangen hedelmällisellä puutarhamaalla. Sen ominaispaino oli sangen pieni, jotavastoin sen nestepitoisuus oli huomattavan suuri.

Kuitenkin on meidän varottava arvioimasta maaperän vaikutusta konstantimmaksi kuin se on. Puun painoon vaikuttaa niin monta eri tekijää, että vaikka maaperä onkin sama, ei kuitenkaan muiden kasvusuhteiden tarvitse olla samat. Tästä johtuu, että muutamien yksityisten puiden perusteella ei tämän tapaisista seikoista voida mitään varmaa päättää.»

Tämän jälkeen mainitsee NÖRDLINGER muutamia esimerkkejä pyökkipuista, jotka osottavat, että kaksi lähekkäin kasvavaa puuta samalla maalla voivat olla painoltaan aivan erilaisia, vaikka ikä, asema metsikossa j.n.e. ovat samat.

Yleensä pidettiin NÖRDLINGER'in aikaan ja pitkät ajat sen jälkeenkin luonnollisena seikkana, että havupuut ovat raskaampia huonommalla maalla ja lehtipuut paremmalla maalla, joka seikka johdettiin vuosilustojen leveydestä, sillä lehtipuillahan merkitsee leveä vuosilusto raskasta puuta ja kapea vuosilusto keveää puuta.

Tässä yhteydessä keksi jo NÖRDLINGER optimilain lehtikuuseen nähden, josta hän julkaisi tutkimuksen vuonna 1885. MAYR taas modifieerasi vuosirenkaan leveyden vaikutusta siten, että hän sanoi voitavan määrätä puun ominaispaino ei vuosirenkaan leveyden perusteella, vaan sen perusteella, kuinka suuri osa vuosirenkaasta on kesäpuuta ja kuinka suuri osa kevätpuuta. Hyvillä maanlaaduilla kehittyy yleensä kevätpuurengas kesäpuurenkaan kustannuksella ja sen vuoksi saadaan hyviltä maanlaaduilta keveätä puuta.

Mäntyä koskevissa tutkimuksissaan, jotka julkaistiin v. 1897, on SCHWAPPACH ottanut tätä asiaa tutkiakseen. Hän vertasi toisiinsa 60—120 vuotisten mäntyjen ominaispainoja eri boniteeteilla, jotka hän merkitsi I-V, siten, että paras boniteetti merkittiin I:lla. Luokat IV ja V merkitsivät suomaita. Kun otettiin keskimäärä ominaispainoista 3:lla parhaalla boniteetilla ja 2:lla huonommalla, niin huomattiin selvästi, että puiden ominaispainot paremmilla boniteeteilla kaikissa tutkituissa Saksan osissa, länsi-Preussissa, Posenissa, Brandenburgissa, ja itä-Preussissa olivat selvästi korkeammat kuin huonommilla boniteeteilla. Samantapaiset tulokset sai SCHWAPPACH myös tutkiessaan hopeakuusen ominaispainoja.

Samaa seikka on myös Wijkander tutkinut. Hän on tutkinut sekä tavallisimpia havupuitamme, mäntyä ja kuusta, että myöskin koivua. Männyn suhteen ei hän saanut mitään varmaa tulosta, mutta kuusen suhteen osottautui selvästi, että kangasmailla kasvaneet kuuset olivat raskaampia kuin vesiperäisillä mailla kasvaneet. Wijkander tuli siis samoihin tuloksiin kuin Schwappach'kin. Koivuista tutki Wijkander osaksi sellaisia, jotka olivat kasvaneet multavilla savi- ja hiekkapohjaisilla mailla, sekä sellaisia, jotka olivat kasvaneet alavilla savipohjaisilla mailla. Mitä viimemainituilla mailla tarkoitetaan, ei tutkimuksesta selviä, mutta yleensä näyttää siltä, että alavat savipohjaiset maat olisivat olleet kangaskorpia ja niinmuodoin laihempia kuin edelliset. Näiden tutkimus osotti, että myös koivu on laihemmalla maalla keveämpää.

Molemmat edelliset tutkimukset osottavat siis oikeastaan sitä, että suomaalla kasvavat puut ovat keveämpiä kuin kasvullisella metsämaalla kasvaneet. Vasta Janka on tutkinut puiden ominaispainoa kasvullisen metsämaan eri boniteeteilla ja hänen tutkimuksensa osottavat, että tuoreella humuspitoisella ja ravintorikkaalla maalla kasvaneiden puiden ominaispainot ovat yleensä suuremmat kuin kuivalla ja humusköyhällä maalla kasvaneiden.

Edellä olevia tutkimuksia vastaan voidaan tehdä se muistutus, että niissä ei ole metsätyyppiä tarpeellisella tarkkuudella määrätty. Näin ollen on ollut vaikea tietää edes, milloin puu on kasvanut paremmalla ja milloin huonommalla boniteetilla.

Tämän kirjoittaja on Korkeakosken harjoitusalueesta otettujen koekappaleiden perusteella koettanut selvitellä tätä asiaa. Kokeet koskivat mäntypuita Calluna- ja Myrtillustyypeillä. Koekappaleet olivat valitut siten, että koepuusta oli sahattu kiekko kannon korkeudelta, 1 m. korkeudelta ja senjälkeen aina 1 m. päästä. Nämä koekappaleet, joita muuten käytettiin m.m. tutkiakseen kevät- ja kesäpuun suhdetta y.m. (laudaturtyö) olivat huolellisesti valitut sekä höyläytettiin sen jälkeen saman vahvuisiksi. Kunkin tällaisen koekappaleen ominaispaino määrättiin stereometrisesti ja senjälkeen määrättiin kunkin 1 m. pituisen kappaleen paino kuutioimalla se kaavalla $\frac{A+a}{a} \cdot h$, nämä yhteenlaskemalla koko puun paino sekä lopuksi koko rungon ominaispaino. Puita oli *Myrtillus*-tyypillä 25 ja *Calluna*-tyypillä 50. Tämän tutkimuksen tulokseksi jäi, ettei ainakaan siinä käytetyn aineiston perusteella ole voitu todeta eroa mustikka- ja Callunatyypillä kasvaneen kuivan mäntypuun painojen välillä.

Kysymys puun ominaispainon vaihteluista boniteetittain (resp. metsätyypittäin) onkin osottautunut paljon monimutkaisemmaksi kuin luullaan. Se, että eroa ei ole voitu todeta kahden siksikin laadultaan läheisen tyypin kuin calluna- ja mustikkatyypin puiden välillä, ei luonnollisesti vielä merkitse sitä, että tällaista eroa ei olisi olemassa. Ensinnäkin oli allekirjoittaneen aineisto tavallaan sangen pieni ja toiseksi on myönnettävä, että siinä on voinut sekaantua vallittujenkin luokkien puita vallitsevien joukkoon ja toiseksi olivat tutkitut tyypit ehkä hyvyytensä puolesta liika lähellä toisiaan.

Siitä, millaiset puun painot hyvyytensä puolesta verrattain kaukana toisistaan olevilla maanlaaduilla ovat, on olemassa jo aikaisin tehtyjä tutkimuksia.

NÖRDLINGER on m.m. kirjoittanut aikakauskirjassa, Centralblatt für das gesammte Forstwesen, v. 1885 artikkelin, jossa kosketellaan kysymystä siitä, missä hyvää lehtikuusta kasvaa, ja tässä artikkelissa toteaa NÖRDLINGER tutkimusten perusteella myös sen seikan, että lehtikuusen ominaispaino kuivana vähenee sekä ylös että alaspäin kasvupaikan optimumista ja että erittäin lihavilla kasvupaikoilla, esim. puutarhamailla ja viljelysmailla kasvavalla lehtikuusella, on huonot ominaispaino-ominaisuudet.

Jos sen jälkeen siirrytään tarkastamaan myöhempiä tutkimuksia, niin on otettava huomioon R. HARTIG'in tutkimus vuodelta 1898, joka koskee m.m. kuusen ja pyökin painoa eri maaperillä. HARTIG on tullut siihen tulokseen, että maaperällä ei ole mitään vaikutusta pyökin painoon, jotavastoin kuusi on raskainta parhaalla maalla, mutta HARTIG'in tutkimus koskee koko puunrunkoa ja senvuoksi HARTIG huomauttaakin, että jos otetaan kysymykseen puu ilman latvusosaa, niin silloin tullaan aivan erilaisiin tuloksiin. Parhailla mailla ei suinkaan saada suurinta määrää raskasta hyötypuuta s.o. oksatonta rungonosaa, vaan on tässä suhteessa löydettävissä erikoinen optimum, joka ei suinkaan vastaa parhaita kasvupaikkoja.

Tämän kysymyksen valaisemiseksi ovat vielä CIESLAR ja JANKA tehneet tutkimuksia erittäin hyvässä maassa nim. vanhassa pellossa kasvaneisiin puihin nähden. Nämä tutkimukset osottavat poikkeuksetta, että tällaisten puiden ominaispainot ovat sangen alhaisia, pysyen yleensä 0.350 tienoilla. Kaikki tämä koskee kuitenkin havupuita. Lehtipuiden suhteen ei ole tällä alalla mainittavia tutkimuksia tehty.

Kun tutkimukset siis tällä alalla ovat yleensä sangen hajanaiset ja kun yleensä bonitoiminen on ollut sangen epävarmaa, niin voidaan

sanoa, että toistaiseksi ei olla läheskään selvillä siitä, mitä maaperä vaikuttaa puun painoon ja tässä suhteessa lienee paikkansa pitävin Maye'in hypoteesi, joka voidaan lausua sanoilla: »yleensä ei varsinaisen metsämaan laadun vaihtelu vaikuta kovinkaan tuntuvasti puiden ominaispainoon. Etenkin lehtipuissa on sen vaikutus pieni. Sekä lehtipuut että havupuut ovat keveimmillään erittäin hyvällä ja erittäin huonolla maalla.»

e. Kun halutaan tutkia puun aseman vaikutusta puun painoon, on siis ensin määriteltävä puuluokat, joiden mukaan tutkimus tapahtuu. Tässä suhteessa otetaan huomioon se luokittelu, joka on käytännössä metsiä harvennettaessa, mutta hyvin ymmärrettävistä syistä ei jako ole niin yksityiskohtainen kuin apuharvennusten vaikutuksia tutkittaessa. Hyvin riittää jo, että puut jaetaan kolmeen luokkaan, nim. valtapuihin, valtaanyhtyviin puihin ja vallittuihin puihin. Huomattavaa on myös, että metsäteknologisissa tutkimuksissa puiden tulee olla tuoreita ja eläviä, joten kaikki lahovikaiset ja kuivat puut on jätettävä tutkimusten ulkopuolelle.

Vanhimmat tutkimukset tässä suhteessa on tehnyt Nördlinger, joka on v. 1878 julkaissut tutkimuksen siitä, mitä valonsaanti vaikuttaa mäntypuun laatuun, jossa todetaan, että avoimilla paikoilla kasvanut mäntypuu voi olla sangen keveätä ja samoin myöskin liian tiheässä kasvaneen mäntypuun paino on alhainen. Paitsi oman aineistonsa perusteella on Nördlinger myös koettanut selvitellä asiaa tutkimalla Chevandier'in ja Wertheim'in aineistoa ja tällöin hän huomasi m.m., että hyvin tiheässä metsikossa kasvanut vaahtera oli tavallista keveämpää ja samoin oli myös laita sellaisen vaahteran, joka oli kasvanut tammimetsän varjossa. Nördlinger tuleekin lopulta siihen johtopäätökseen, että yleensä tiheässä metsässä kasvaneiden varjoa sietävien puulajien vallittuihin puuluokkiin kuuluvat yksilöt aina kasvavat keveätä puuainetta. Tämä pitää varsinkin paikkansa pyökkiin ja hopeakuuseen nähden. Sama on myös sellaisen tammen laita, joka kasvaa varjostettuna hopeakuusimetsissä. Tämän seikan tueksi mainitaan vielä, että yleensä hopeakuusimetsissä kasvaneesta tammipolttopuusta ja vallittuihin luokkiin kuuluvista pyökkiapuharvennuspuista maksetaan huono hinta. Sama seikka[1]) selviää Chevandier'in ja Wertheim'in tutkimuksista myös mäntyyn nähden.

Tätä seikkaa on myös Robert Hartig tutkinut. Hän johtaa puun painon oikeastaan puun vahvikekudosten tarpeesta. Jos puu on hento,

[1]) Keveämmät puut tiheämmässä metsikössä.

tarvitsee se vastustaakseen tuulen tai lumen taivutusta vankemmat vahvikekudokset ja tästä syystä sen täytyy myös olla rakennettu lujemmasta ja painavammasta puuaineesta. Jos puu sitävastoin on vankkarunkoinen, s.t.s. sen läpimitta on suuri, niin se luonnollisesti helpommin voi vastustaa tällaisia voimia ja saa senvuoksi olla heikommasta puuaineesta rakennettu.

Osaksi johtaa HARTIG puun painon myös ravinnonotosta. Jos puun latvus on pieni, liikkuu puussa vähän nesteitä ja senvuoksi saavat myös puuaineessa olla pienenä osana sellaiset solut, jotka kuljettavat vettä, jotavastoin suurilatvuksinen ja suuriläpimittainen puu tarvitsee runsaammin sellaisia soluja ja soluyhtymiä, jotka kuljettavat vettä. Näistä molemmista edellä mainituista seikoista johtuu, että puuaine yleensä suurilatvuksisissa ja suuriläpimittaisissa puissa on keveämpää kuin pienilatvuksisissa ja pieniläpimittaisissa.

Kun taas suurilatvuksiset ja suuriläpimittaiset puut yleensä kasvavat aukealla tai metsikon valtapuina ja pieniläpimittaiset ja pienilatvuksiset varjossa tai vallittuina puina, niin tuli HARTIG lopulta, siihen johtopäätökseen, että aukealla olevien puuyksilöiden puuaine yleensä on keveämpää kuin varjossa kasvaneiden puiden puuaine ja että harvennettujen metsien puuaine yleensä on keveämpää kuin harventamattomien metsien puuaine.

Myös CIESLAR ja JANKA ovat tutkineet tätä samaa asiaa. He tutkivat hyvällä maalla kasvaneita kuusia, joista toiset olivat kasvaneet istutetussa metsässä, jossa taimien välit lopulta olivat harvennetut 3,8:ksi m. ja toiset taas olivat kasvaneet kylvetyllä alueella. Nämä tutkimukset osottivat, että kummassakin metsikossa erikseen valtapuut olivat raskaampia kuin valtaanyhtyvät puut ja nämät taas puolestaan raskaampia kuin vallitut puut. Jos taas verrataan toisiinsa kutakin vastaavaa luokkaa, siis esim. vallittua puuta metsikossa, joka oli istutettu, vallitsevaan puuhun metsikossa, joka oli kylvetty j.n.e., niin huomattiin, että kukin luokka istutetussa metsikossa oli keveämpi kuin vastaava luokka kylvetyssä.

Myöskin MAYR on lausunut tästä asiasta mielipiteensä. Hän selittää, että harvennushakkaukset ja väljennyshakkaukset eivät oikeastaan merkitse mitään muuta kuin puun saattamista parempaan ilmastoon s.o. ilmastoon, jossa on enemmän lämpöä ja enemmän valoa ja samalla tavalla merkitsee taas puun joutuminen varjoon puulle aivan samaa kuin puun joutumista huonompaan ilmanalaan. Tästä syystä onkin puun aseman vaikutus puun painoon aivan yhdenmukainen ilmanalan vaikutuksen

kanssa puun painoon. Ja tällä tavalla joudutaan taas samaan optimilakiin, jonka Mayr on esittänyt ja joka on edellä siv. 53 jo mainittu.

Kun verrataan edellämainittuja tutkimuksia toisiinsa, niin näyttävät Nördlinger'in tulokset olevan näennäisesti ristiriidassa kaikkien myöhempien tutkimusten kanssa. Itse asiassa näyttääkin siltä, kuin Nördlinger olisi väärässä, sillä paras selitys sittenkin puun painosuhteille on juuri etsittävä puun ravitsemistoiminnasta. Aivan niinkuin Hartig on maininnut, on kaikki sellainen puu keveää, jossa on runsaasti ravintoaineita kuljettavia soluja, suurionteloisia trakeiideja, ohutseinäisiä ja suurionteloisia putkiloita j.n.e. Kysymys on siis ainoastaan siitä, kummalla osalla metsikon puista nämä ominaisuudet ovat huomattavampia vallitsevillako vai vallituilla ja juuri tähän kysymykseen ei Hartig oikeastaan ole antanut tyydyttävää vastausta. Huomattava on nim., että puissa, jotka kasvavat sangen lihavalla maalla, täytyy olla huomattavasti suuret putkilot, jotta ne voisivat kuljettaa sen runsaan ravintoainepitoisen nestemäärän, joka puussa liikkuu, mutta toiselta puolelta täytyy tällaisten puiden myöskin kasvattaa vahvikekudoksiaan senvuoksi, että niiden latvus on suuri ja raskas ja että sen paino koko puun painoon nähden on suhteellisesti suuri. Jos puu sitäpaitsi kasvaa avoimella ja tuulille alttiilla paikalla, ja etelärinteellä, niin tarvitsee puu erikoisesti vielä lisää vahvikekudosta runkonsa eteläpuolelle, sillä tälle puolelle painaa latvus kaikkien eniten, joten siis eteläpuoli puusta tulee vielä sisältämään erikoisen runsaasti vahvikekudosta. Tästä syystä pitääkin paikkansaa se, mitä Nördlinger on sanonut, nim. että kaikkein raskaimpia ovat lehtokujissa kasvaneet puut tai rinteillä kasvaneet puut metsikoiden etelälaidoilla.

Saman aineiston perusteella, joka edellä on siv. 57 mainittu, tutki tämän kirjoittaja kyseenalaista seikkaa Calluna-tyypillä, koska siltä valittu materiali nimenomaan oli luokiteltu vallitseviin, valtaanyhtyviin ja vallittuihin puihin. Tämän materialin suurimman osan kerääjän, metsähoitoylioppilas, sittemmin metsänhoitaja, H. G. Duncker'in kaikki muistiinpanot ovat sangen luotettavat, mutta muodostuu aineisto tällaisen kysymyksen ratkaisua varten sangen pieneksi. Vallitsevien puiden lukumäärä oli 17, valtaan yhtyvien 14 ja vallittujen 19. Lukumäärä oli näin ollen verrattain tasaisesti jaettu eri puuluokkiin nähden. Senvuoksi, että osa latvimmaisista kiekoista oli hävinnyt, otettiin tutkimuksen esineiksi ainoastaan puun tyviosa 5 m. korkeudelle saakka.

Tällöin saatiin seuraavat keskimäärät:

Vallitsevat puut 0. 55
Valtaanyhtyvät puut 0.561
Vallitut puut 0.528

Erot ovat jääneet sangen vähäpätöisiksi, mutta esim. valtaanyhtyvien puiden suurempi paino ei näytä satunnaiselta. Häiritsevästi on vaikuttanut tuloksiin ehkä se, että kustakin puusta on tutkimuksia varten mitattu 5 m. pituinen kappale, kun luonnollisesti olisi pitänyt mitata pituudesta yhtä suuri osa, esim. $^1/_4$ tai $^1/_5$. Vallittujen puiden sangen pieni paino on myös yllättävä ja vastoin kaikkea sitä, mitä edellä olevissa tutkimuksissa on lausuttu.

Tahtomatta mitenkään antaa edellä olevalle tutkimukselle ratkaisevaa merkitystä, voitanee sanoa, että tämäkin tärkeä kysymys on toistaiseksi ratkaisematta, mutta todennäköisesti ovat sittenkin metsikön vallitsevat puut keveimmät.

f. Iän vaikutus puun painoon. Selvää on, ettei ikä sellaisenaan vaikuta puun painoon, vaan, että iän vaikutus tässä suhteessa ilmenee niinä erilaisina muutoksina puun kasvussa ja rakenteessa, joka puulla eri ikäkausina on, ja nämä muutokset taas puolestaan vaikuttavat sen, että puun paino eri ikäkausina on erilainen.

Tätä asiaa ovat jo DUHAMEL DU MONCEAU sekä CHEVANDIER ja WERTHEIM tutkineet. Samoin on myös NÖRDLINGER lausunut ajatuksensa tästä asiasta. Kaikki nämä kolme tulivat siihen johtopäätökseen, että iän vaikutus puun painoon on sama kuin sydänpuunmuodostuman vaikutus. Kun puu on nuori ja siinä ei ole sydänpuuta, niin se on keveämpää, mutta alkaa käydä raskaammaksi sitä myöten kuin sydänpuun määrä lisääntyy. Ja näin ollen ovat siis vanhat puut, joissa on paljon sydänpuuta, raskaampia kuin nuoret puut, joissa ei sitä ole. Mitä taas sydänpuuttomiin puihin tulee, niin on NÖRDLINGER lausunut sen otaksuman, että niillä on nuoremman puun paino suurempi kuin vanhan.

Tarkempia tutkimuksia on tässä suhteessa SCHWAPPACH tehnyt. Hän on tullut siihen tulokseen, että iän vaikutus puun ominaispainoon on erilainen paremmilla maanlaaduilla kuin huonommilla. Paremmanlaatuisella maalla kasvava mänty saavuttaa painomaksiminsa noin 60:nnellä ikävuodellaan tai 30—60 ikävuosien välisenä aikana, jonka jälkeen paino pysyy jokseenkin samanlaisena noin 90:nteen ikävuoteen asti. Huonommalla maalla taas puu on painavinta nuoruudessaan, mutta alkaa sittemmin kevetä nopeanlaisesti 30:nnestä ikävuodesta alkaen 60:nteen ikävuoteensa saakka, jonka jälkeen painon aleneminen hidastuu. Nämä SCHWAPPACH'in tutkimukset koskevat havupuita.

Samantapaisia huomioita on WIJKANDER tehnyt ruotsalaisessa männyssä, jotavastoin hän ei ole voinut todeta kuuselle mitään varmaa iänmukaista painonlisäystä. WIJKANDER'in tulokset eroavat SCHWAPPACH'in tuloksista ainoastaan siinä, että puun painomaksimi siirtyy paljon myöhemmälle iälle ja samalla tavalla siirtyy eteenpäin myös puun painon väheneminen puun vanhemmaksi tullessa. Samaan tulokseen on itse asiassa myöskin JANKA tullut, vaikkeivät hänen lukunsa osotakaan yhtä suurta säännöllisyyttä kuin SCHWAPPACH'in ja WIJKANDER'in.

Mitä taas lehtipuihin tulee, niin ovat WIJKANDER'in tutkimukset ainakin tammeen ja saarniin nähden osottaneet, että näiden puulajien ominaispainot puun vanhetessa alenevat.

Myöskin Yhdysvaltain Madison'in laboratorio on tehnyt tutkimuksia tällä alalla useihin ameriikalaisiin sekä havu- että lehtipuihin nähden ja tullut itse asiassa jokseenkin samoihin johtopäätöksiin kuin viimeksi mainitut tutkijat, vaikka näitä johtopäätöksiä on tulkittu hieman erilaisella tavalla, riippuen tämä tulkinta siitä, että painomaksimi yleensä on siellä sattunut paljon myöhäisemmälle iälle kuin esim. SCHWAPPACH'in tutkimuksissa ja osaksi siitä, että painominimiä ei ole saavutettu syystä, että tutkimuksia ei ole ulotettu tarpeeksi myöhäiselle ajalle.

Vetääkseen johtopäätökset niistä tutkimuksista, joita tällä alalla on suoritettu, on ensinnäkin mainittava, että on jokseenkin varmaa, että painomaksimin saavuttaminen on riippuvainen puun fyysillisestä iästä. Mitä suuremman iän puu yleensä voi saavuttaa, sitä pitemmälle siirtyy myöskin painomaksimi. Tästä syystä se esim. WIJKANDER'in ja ameriikalaisen metsäkoelaitoksen tutkimissa puissa on paljon myöhäisemmällä iällä kuin SCHWAPPACH'in tutkimissa puissa, joiden fyysillinen ikä on lyhempi. Tästä syystä ei voidakaan määritellä mitään kaikille puulajeille yhteistä painomaksimin ikää, vaan on tämä ikä aivan erilainen sen mukaan, kuinka kauan puu yleensä voi elää.

Havupuihin nähden voidaan sääntönä yleensä mainita, että aluksi puun paino kasvaa, kunnes se saavuttaa painomaksiminsa, jonka jälkeen se pitkän aikaa pysyy lähes konstantina alkaakseen vasta puun loppuiällä hitaasti laskea. Sitävastoin on mahdoton sanoa, kummatko puut ovat keveämpiä, hyvin nuoretko vai hyvin vanhat puut. Lehtipuiden paino taas todennäköisesti vähenee iän kasvaessa.

Hypoteesina iän vaikutuksesta puun painoon haluaa tekijä vielä mainita, että puun painolla on yhteyttä puun pituuskasvun kanssa. Täten sattuisi puun painomaksimi suunnilleen sille puun iälle, jolla puun juokseva

pituuskasvu kulmineeraa ja puun painon väheneminen puun vanhemmalla iällä taas sille puun ikäkaudelle, jolloin puun pituuskasvu lakkaa ja puu alkaa käydä lakkapäiseksi. Sellaisilla puulajeilla taas, joiden pituuskasvu ei osota selvää loppumista, on myös puiden painon vaihteleminen iän mukaan epäselvä, joten sen suhteen on vaikea mitään varmaa lakia sanoa. Se taas, että puun pituuskasvulla tällä tavoin tulee olemaan välillinen merkitys puun painoon, riippuu siitä, että pituuskasvun vaihtelut merkitsevät samalla vaihteluja soluseinien suuruudessa ja vahvuudessa. Niinpä esim. SCHWAPPACH'in tutkimusten mukaan suurempaa pituuskasvua aikaisemmalla iällä vastaa heikompiseinäiset trakeiidit, samoin kuin myöskin taas myöhäisemmällä iällä puun trakeiidit käyvät paksuseinäisemmiksi.

g. Puun eri osien vaikutus puun painoon. Jos ajatellaan puun rungon painoa kokonaisuudessaan, niin on selvää, että puu on sitä raskaampi mitä enemmän siinä on raskaampia osia. Näin ollen voidaan siis, jos ajatellaan koko puuta oksineen, ensinnäkin sanoa, että puu on sitä raskaampaa mitä enemmän siinä on kesäpuuta ja jos taas ajatellaan rungon eri osia, voidaan sanoa, että ne rungon osat ovat raskaampia, joissa on kesäpuuta enimmän. Jo tämän perusteella voidaan sanoa, että havupuilla ovat oksat runkoa raskaammat ja lehtipuilla runkoa keveämmät, sillä oksien vuosirenkaat ovat yleensä kapeammat kuin rungon.

Jos taas ajatellaan itse runkoa, niin voidaan se jakaa meikäläisissä havupuissa kahteen eri osaan, nim. oksattomaan rungonosaan ja latvukseen kuuluvaan rungonosaan. Yleensä voidaan sanoa, että puun oksaton rungonosa, oli sitten kysymys havu- tai lehtipuista, on raskaampi kuin latvukseen kuuluva rungonosa. Kuitenkaan ei tätä ole käsitettävä siten, että puun painon väheneminen jyrkästi alkaisi sillä kohdalla, missä latvus alkaa. Päinvastoin on asian laita se, että sellaisissakin puulajeissa, joissa latvus ulettuu aivan milt'ei maahan asti, voidaan huomata painon vähenevän rungon yläosiin päin. Jos puu ajatellaan jaetuksi metrin pituisiin kappaleisiin, niin ovat useat tutkijat, esim. SCHWAPPACH sekä CIESLAR ja JANKA, tulleet siihen tulokseen, että puun paino vähenee tyvestä latvaan mennessä johonkin määrättyyn korkeuteen asti, esim. 24 m pitkällä männyllä noin 16 m korkeuteen asti, jonka jälkeen se taas alkaa kohota. Samaan suuntaan menevät myös HARTIG'in tutkimukset ja HELANDER mainitsee tulleensa siihen tulokseen, että männyssä tyvi-

puu on raskainta ja että puun paino vähenee rungon ylemmissä osissa, mutta nousee ainakin syrjäytetyissä puissa jonkun verran latvassa. Kuusen runko-osien painossa ei taas havaita niin säännöllisiä vaihteluita. Se on suurin tyvessä, laskeutuen noin 40—50 pituus-% kohdalla ja nousee vähän puun latvaosissa. Koivun paino taas pysyy milt'ei samana, laskeutuen vähän latvaosissa.

Olkoon kuitenkin mainittu, että HELANDER'in tutkimukset koskevat absoluutisesti kuivaa puuta, joten niitä ei voida verrata edellä mainittuihin tutkimuksiin, jotka koskevat kuivaa puuta.

Myös allekirjoittanut on tehnyt tutkimuksia tässä asiassa kotimaisiin puulajeihimme, mäntyyn, kuuseen ja koivuun nähden. Ennenkuin puu katkottiin ja siitä otettiin koekiekot, piirrettiin puun runkomuoto millimetripaperille. Tällä tavalla erotettiin puussa kolme osaa, nim. tyvipaksunema, varsinainen lieriömäinen runko ja koonimaisempi latvusosa. Koekiekot otettiin sen jälkeen siten, että puu jaettiin siksi moneen yhtä suureen osaan, että myöskin tyvipaksunemasta saatiin vähintäin 3 havaintoa. Tutkimukset osottivat, että yleensä sellaisilla puilla, jotka selvästi muotonsa puolesta voitiin jakaa näihin 3 eri osaan, painovaihtelut olivat sellaiset, että tyvipaksunema oli raskain ja sen jälkeen rungon oksaton osa, jonka jälkeen runko taas alkoi kevetä jonkun verran yläpuolella rungon koonimaisen osan alkua. Jos taas rungossa ei voitu erottaa muuta kuin tyvipaksunema ja säännöllinen paraboloidimainen tai koonimainen rungonosa, niin ei myöskään mitään selvää painon kohoamista latvaosiin mennessä ollut havaittavissa. Että näin täytyykin olla asian laita, voidaan aivan helposti käytännöllisillä syillä selittää. Puun tyvipaksunema voidaan METZGER'in tapaan selittää tupeksi, johon puu on kiinnitetty. Puun täytyy siis lähelle tyveänsä valmistaa vuosilustoja, joissa on runsaasti vahvikekudosta, jotta puu kestäisi latvuksen painon ja tuulen taivuttavaa voimaa. Samalla tavalla kyetään latvuksen painopisteteorian mukaan selittämään se seikka, että myöskin ylempänä rungolla täytyy olla osia, joissa puun paino vahvikekudoksen lisääntymisen vuoksi kasvaa, joten on aivan luonnollista, että puun täällä tulee olla raskaampaa, jotta se täälläkin voisi vastustaa tuulen taivuttavaa voimaa, joka luonnollisesti on suurimmillaan jollain kohdalla tyvipaksuneman ja latvuksen painopisteen välillä. Se seikka taas, että latvaosat usein ovat rungon oksattomia osia raskaammat, riippuu siitä, että latvuosa on sangen hento, niiden oksien painoon nähden, joita sen täytyy kannattaa.

Tämän selityksen kanssa painomaksimin riippuvaisuudesta latvuk-

sen painopisteen asemasta pitää täydellisesti yhtä se havainto, jonka SCHWAPPACH on tehnyt, nim., että kuusen painomaksimi on 4—6 m korkeudella. Tämän teorian perusteella voidaan myös selittää WIJKANDER'in havainto siitä, että kuusi on 2 m korkeudella ollut keveämpää kuin 11 m korkeudella. 2 m mitta on nähtävästi sattunut tyvipaksuneman yläpuolelle ja sellaiseen kohtaan puussa, jossa taivuttava voima on ollut pieni, jotavastoin 11 m kohta on voinut sattua lähelle latvuksen painopistettä ja sellaiselle kohdalle, jossa taivuttava voima on ollut suuri.

Edelleen voidaan myös tutkia sitä, kummatko osat rungossa, sydäntä lähinnä vaiko sydäntä kauempana olevat osat, ovat raskaampia. Tässä suhteessa on olemassa sangen vähän tutkimuksia. GAYER on tutkinut tätä asiaa ja mainitsee tulleensa siihen tulokseen, että useilla puulajeilla, esim. männyllä, lehtikuusella, tammella ja pyökillä, sydänpuu on raskaampaa kuin pintapuu, koivulla taas on tavallisesti pintapuu raskaampaa kuin sydänpuu ja kuusella taas ei ole mainittavaa eroa. Yleensä lisääntyy havupuilla usein paino sydänpuun ulko-osaan mennessä, jotavastoin kehäputkiloisilla lehtipuilla ja pyökillä on raskain puu lähempänä ydintä. Nuorissa puuosissa taas, oli sitten kysymys lehti- tai havupuusta, ei ole mainittavaa eroa pintapuun ja sydänpuun painon välillä. WIJKANDER'in mukaan ovat männyssä ytimen ympärillä olevat osat kaikkein kevyimmät ja HELANDER väittää, että puun paino on pienin sydämen ympäristössä, mutta kohoaa sydämen ja puun pinnan puolivaiheille ja vähenee taas pintaanpäin.

Tämän kysymyksen ratkaisu on jo muuten oikeastaan edellä esitetty. Kun nim. puhuttiin puun painovaihteluista iän mukaan, mainittiin, että puulla on ikä, jolloin sen ominaispaino saavuttaa maksiminsa. Luonnollista on, että juuri ne osat puun poikkileikkauspinnassa ovat raskaimmat, jotka vastaavat sitä ikää, jolloin puu saavuttaa maksimipainonsa. Tästä seuraa myös, että vanhojen puiden pintaosat ovat keveitä.

Hyvin usein on myös esitetty kysymys, kumpiko puoli puusta, pohjois- vai eteläpuoli, on kevein. Tätä kysymystä ei myöskään ole lopullisesti ratkaistu, mutta jokseenkin varmaa on, että ero tässä tapauksessa on sangen pieni. Hyvin usein on kuitenkin eteläpuoli oksaisempi ja sen oksat ovat pitempiä ja paksumpia kuin pohjoispuolen. Tästä syystä myös puun pohjoispuolen on kestettävä suurempi paino ja senvuoksi muodostuu puu pohjoispuoleltaan lujemmaksi kuin eteläpuoleltaan.

h. Kaatoajan vaikutus puun painoon. Tätä asiaa on ensinnä laajemmin tutkinut TH. HARTIG ja julkaisee hän tutkimuksensa

puulajien polttoarvoa koskevassa teoksessaan. Hän tuli siihen johtopäätökseen, että kesällä kaadettu puu on keveämpää kuin talvella kaadettu ja että ero on 4—8.6 %, joka % määrä on vähennettävä puun painosta talvella, jotta saataisiin sen kesäpaino. Samanlaisiin tuloksiin on myöskin Nördlinger tullut tutkimuksissaan, jotapaitsi Nördlinger on tullut siihen tulokseen, että vanhoissa puissa tämä ero on sangen vähäinen. Suunnilleen samantapaisiin tuloksiin kuin edelliset tutkijat on myös Grabner, tullut, vaikka hän ei ilmoita eroa yhtä suureksi kuin edelliset. Kaikki ne tutkijat, jotka sanovat talvella kaadettua puuta raskaammaksi kuin kesällä kaadettua, ovat yleensä ilmoittaneet, että tämä painolisäys johtuu siitä, että puussa on talvella enemmän varastoravintoaineita kuin kesällä. Th. Hartig on ottanut tutkiakseen tätäkin asiaa ja tullut siihen hämmästyttävään tulokseen, että puussa olevien varastoravintoaineiden määrä voi korottaa puun painoa ainoastaan korkeintaan $^1/_2$ %:illa. Kun on kysymys puista, joilla on sama kuivuusaste, niin herää ehdottomasti kysymys siitä, mikä sitten on ollut syynä Th. Hartig'in huomaamaan painolisäykseen. Ja tätä asiaa ei Th. Hartig ole voinut selittää millään muulla kuin otaksumalla, että soluseinässä on yleensä kaikkia aineita talvella enemmän kuin kesällä.

Pitkät ajat oltiinkin tyytyväisiä edellä oleviin tutkimustuloksiin ja Th. Hartig'in selitykseen, kunnes Robert Hartig tutki tarkemmin asiaa. Hän huomasi, että varastoravintomäärät sekä tammella että pyökillä olivat aivan yhtäläiset niin hyvin talvi- kuin kesäkuukausinakin.

Tästä syystä voidaankin pitää oikeana Gayer'in mielipidettä tässä asiassa, nim. että tieteen nykyisellä kannalla ollen on sangen vaikea tietää, onko talvella kaadetun ja kesällä kaadetun puun painojen välillä mitään eroa. Voidaan siis sanoa, että kaatoajalla todennäköisesti ei ole mitään merkitystä puun painoon.

i. Vikanaisuuksien vaikutus puun painoon. Jo Nördlinger mainitsee, että alkaneet lahoviat vähentävät puun painoa ja tämä pitääkin paikkansa, sillä lahovikaisesta puusta ovat sienet ja bakteerit käyttäneet ravinnokseen osan soluseiniä muodostavasta aineesta. Toinen on asianlaita sitävastoin, jos vikanaisuuksiin luetaan myös poikkeukselliset kudokset, kuten haavapuu, pakkasnystyrät, lylypuu, visa, nikaramuodostumat, pahkamuodostumat j.n.e., jotka yleensä kohottavat puun painoa ja tässä samassa yhteydessä voidaan myöskin mainita, että oksien alapuolella tavataan sangen usein lylymuodostumaa 1. janhusta, joten oksien alapuoli usein on raskaampi kuin niiden yläpuoli.

j. Solujen väri- ja hartsipitoisuuden vaikutus puun painoon. ROBERT HARTIG on tullut siihen tulokseen, että väriaineet kohottavat tammen sydänpuun painoa 6 %:lla. Sittemmin on MAYR tarkemmin tutkinut tätä asiaa ja huomannut ensinnäkin, että sellaiset puut, joiden soluontelot sisältävät väriaineita, esim. värikkäät troopilliset puulajit, ebenholz, pockenholz, ja yleensä n.k. veripuut, esim. quebracho, palisander y.m. ovat sangen raskaita. Sitäpaitsi voidaan yleisenä sääntönä mainita, että värillinen sydänpuu aina merkitsee raskasta puuta ja että puu yleensä on sitä raskaampaa mitä värillisempää se on, luonnollisesti edellyttäen, että on kysymys samasta puulajista. Selvää on kuitenkin, että puun tulee olla tervettä, sillä esim. alkavasta lahoviasta johtunut tummempi väri ei luonnollisesti merkitse raskaampaa puuta. Vaikka tummempi puu on raskaampaa kuin vaaleampi, ei värin perusteella kuitenkaan voida laatia mitään asteikkoa ominaispainolle, sillä niin suhteellinen ei värin tummuus ominaispainoon ole.

Puun hartsipitoisuuden vaikutusta sen painoon on m.m. tutkinut R. HARTIG. Hartsit ovat yleensä raskaampaa kuin puuaine ja senvuoksi on puu sitä raskaampaa mitä enemmän hartseja se sisältää. Jos on kysymys rungon eri osista, niin ovat rungossa kahdesta samanlaisesta osasta raskaampia ne osat, jotka sisältävät enemmän hartsia. Niinpä esim. männyn sydänpuuosa on hartsirikkaampi kuin pintapuu ja senvuoksi tulee painoerotus sydänpuun raskaampien osien ja pintapuun keveämpien osien välillä hartsipitoisuuden kautta vain jyrkemmäksi. Sitävastoin muodostaa kuusi pihkaa enimmäkseen pintapuun uloimmassa osassa, joten pihkapitoisuudella ei ole niin suurta merkitystä kuusipuun painon lisääjänä, sillä muutoin esiintyy pihka jokseenkin tasaisesti puun kaikissa osissa. Lehtikuusella taas vaipuvat hartsit yleensä puun rungon alaosiin ja näin ollen ne aikaansaavat, että painoero rungon ylempien ja alempien osien välillä tulee jyrkemmäksi.

Näitä ROBERT HARTIG'in tutkimusten tuloksia ei oikeastaan vieläkään ole kumottu, vaikka ne eivät kaikin puolin vastaakaan tieteen nykyistä kantaa. Kaikkein tarkimmat tutkimukset tällä alalla on tehnyt MAYR, ja ovat hänen johtopäätöksensä nyt esillä olevasta kysymyksestä seuraavat: Havupuiden hartsipitoisuus lisää niiden painoa. Vasta sen jälkeen kuin mantopuu on muuttunut sydänpuuksi, alkavat juoksevassa tilassa olevat hartsit muuttua kiinteiksi ja raskaiksi hartseiksi. Vanhemmissa puuosissa ei siis muodostu mitään uutta hartsia, vaan pysyy hartsin absoluuttinen määrä samana, hartsi muuttaa ainoastaan muotoaan konsentreerautuen ja oksideeraten raskaammiksi hartseiksi. Kaikkein

enimmän kohoavat painot sellaisilla puulajeilla, joissa on paljon hartsia, s.t.s. männyllä ja kuusella, ja kaikkein vähimmän niillä, joissa hartsia on vähän, esim. hopeakuusella.

Se seikka, että hartsipitoisuus kohottaa puun painoa, ilmenee monella tavalla. M.m. ilmenee tämä siinä, että juurenniska on raskaampi kuin muu puu, siinä, että sarvioksat ovat raskaampia kuin tavalliset oksat ja että haavapuu on raskaampaa kuin muu puu ja tervasroso raskaampaa kuin rososta vapaa puu.

k. Uiton vaikutus puun painoon. Tätä seikkaa on jo Duhamel du Monceau tutkinut. Hän tuli siihen johtopäätökseen, että Seineä myöten uitettu polttopuu, joka oli kaadettu kaukaisten purojen varsilta ja sen jälkeen joutunut välillä kuivamaan ja taas veteen ennenkuin se lopulta saapui määräpaikalleen, oli tullut huomattavasti keveämmäksi kuin uittamaton puu ja että tämä painon vähennys oli suurin koivulle, poppelille ja lehmukselle.

Klauprecht ja Pfeil ovat samaa mieltä ja mainitsevat, että uitetusta ja kuivasta halkotavarasta yleensä maksetaan painon vähennyksen takia 10—15 % alhaisempi hinta kuin uittamattomasta kuivasta tavarasta. Tarkemmin on asiaa tutkinut Werneck, joka on tutkinut sitä, kuinka paljon eri puulajien runkopuu vähentää painoansa uiton vuoksi. Hän on tutkinut kaikkiaan 23 eri puulajia ja huomannut, että painon häviö uiton kautta on noin 2.5—9.0 % ja vähenevät alla lueteltujen puiden painot seuraavilla %-määrillä:

mänty	7.0 %
kuusi	8.1 »
koivu	3.1 »
haapa	3.9 »
tammi	3.2 »
pyökki	3.8 »
leppä	5.2 »
lehmus	6.0 »
jalava	4.4 »

Näiden Werneck'in lukujen mukaan on siis painon vähennys uiton vuoksi 2.5—9.0 %. Näitä Werneck'in lukuja voidaan kuitenkin erinäisistä syistä epäillä. Kun puu oli kahteen kertaan kuivattava, nim. ennen veteen laskemista ja taas uudestaan vedessä oltuaan, joka vedessä pitäminen muuten tapahtui siten, että puut asetettiin erääseen puroon 42 vuoro-

kaudeksi, niin ei WERNECK oikeastaan ole millään tavalla kontrolleerannut sitä seikkaa, että puun kosteusaste kummallakin kerralla olisi tullut samaksi. Voi siis olla mahdollista, että puussa viimeisellä kerralla on ollut vähemmän vettä kuin edellisellä.

J. NÖRDLINGER, meidän usein mainitsemamme H. NÖRDLINGER'in isä, on myös tutkinut tätä asiaa yhdessä vuorineuvos DEGEN'in kanssa. Nämä tutkimukset suoritettiin Stuttgartin Polyteknillisen Opiston laboratoriossa ja tuli niiden tulokseksi se, että uitetun tavaran paino on 0.06—9 % pienempi kuin uittamattoman. Nämä tutkimukset koskevat yksinomaan pyökkipuuta. Myöskin näitä tutkimuksia vastaan voidaan tehdä eräs muistutus. Tutkimuksessa ei ole verrattu toisiinsa samoja puita, vaan on uitettu puu ollut kotoisin toisesta paikasta ja uittamaton toisesta, vaikka puutavara muuten on arvosteltu samanlaiseksi. Tulokset jäävät siis riippuvaiseksi yksinomaan tutkijoiden kyvystä arvostella, onko puutavara ollut samaa laatua vai ei, ja selvää on näin ollen, ettei heidän numeroillensa voida antaa ratkaisevaa merkitystä, sillä jo samalla kasvupaikalla voi saman puulajin paino erinäisissä tapauksissa vaihdella niin paljon kuin tässä esitetyt rajat osottavat.

Asiaa on myös tutkinut H. NÖRDLINGER, joka ryhtyi tutkimukseensa Würtembergin rahaministeriön toimesta. NÖRDLINGER'in tutkimuksissa on korjattu ne virheet, joita edellisissä tutkimuksissa on tehty ja tuli hän myöskin sellaisiin tuloksiin, että ero tosiaankin on olemassa, mutta, että varmoja lukuja ei voida pienen tutkimusmateriaalin pienuuden vuoksi eron absoluuttisesta suuruudesta antaa, joten hän jättää tässä suhteessa lopulliset johtopäätökset lausumatta ja esittää ainoastaan ne tulokset, joihin hän on tullut. Jos näitä tuloksia tarkastetaan, niin huomataan, että yleensä painoerot NÖRDLINGER'in tutkimuksissa ovat paljon pienemmät kuin edellisissä, vaihdellen 1.3—6 %.

Tämän jälkeen on myös GAYER tutkinut asiaa ja tullut siihen johtopätökseen, että, jos puu kevenee uiton vuoksi, niin kevenemisen täytyy johtua siitä, että puusta liukenee veteen erinäisiä aineita; tällaisia veteen liukenevia aineita puussa ovat munanvalkuaisaineet, sokeri, kumi, parkkihapot ja erinäiset orgaaniset ja epäorgaaniset suolat. Näiden aineiden määrä puussa on kuitenkin sangen pieni, niinpä esim. typpipitoisia aineita on ainoastaan 0.1 % puun painosta. Tästä syystä on GAYER'in mielestä mahdotonta, että puu voisi uittamisen kautta näin huomattavasti vähentää painoaan.

Arvosteluna edellä mainitusta voidaan lausua, että puun kevenemisen uitossa on seikka, jota käytännössä on sangen vaikea tutkia. Kun

puu ensin kuivataan ja sen jälkeen asetetaan imemään vettä ja sen jälkeen uudestaan kuivataan, niin ei tulla menetelleeksi samalla tavalla kuin uitossa yleensä. Uitettu puuhan on aina joko jonkun verran kuivempaa kuin kasvava puu tai korkeintaan metsäkuivaa. Jos taas tutkittaisiin puun kevenemistä harjoittamalla uittoa siten kuin se tavallisesti käytännössä harjoitetaan, niin voisi tutkimus tapahtua korkeintaan siten, että voitaisiin tutkia kahta välittömästi toisiinsa liittyvää saman puun osaa, mutta jo tällöin voivat kummankin puukappaleen kuivumis- ja vedenimemissuhteet olla erilaiset. Tutkiminen käy siis ylen vaikeaksi ja epävarmaksi, sillä painoero saman puun eri osien välillä voi jo olla suurempi kuin ne painoerot, mitä uitetun ja uittamattoman puun välillä voi tulla kysymykseen.

Asia voidaan siis käsitellä ainoastaan teoreetisesti, ja tässä suhteessa on siis ensinnäkin tutkittava, kuinka paljon sellaisia aineita on puussa, jotka liukenevat veteen. Munanvalkuaisaineita on puussa 1 % sen painosta, puukumia kuusessa ja männyssä 6—7 %, toisten tietojen mukaan 8—13 %, sekä koivussa ja pyökissä vielä tätä runsaammin, kaikki absoluuttisesti kuivasta painosta. Nämä luvut muuttuvat tuntuvasti, silloin kuin on kysymys n.k. kuivasta puusta. Jos näitä lukuja vertaa esim. Nördlinger'in lukuihin, niin odottaisi, että esim. pyökillä aina olisi suurin painohäviö, koska se sisältää enemmän kumiaineita. Näin näyttää tosiaankin olevan asian laita, sillä Nördlinger'in suurimmat %-luvut tavataan juuri pyökillä, mutta tavataan sillä myös sangen alhaisia %-lukuja. Joka tapauksessa näkyy, että puussa on veteen liukenevia aineita yleensä enemmän kuin Gayer on otaksunut ja hyvin suuri osa näistä aineista on puunesteessä, joten ne veden vaikutuksesta helposti voivat siirtyä puusta pois. Kun ottaa huomioon sen tarkkuuden, jolla Nördlinger yleensä on tutkimuksensa suorittanut ja sen seikan, että myös ne tiedot, joita on olemassa puuaineen kemiallisesta kokoomuksesta, eivät ole sen otaksuman vastaisia, että puu huomattavasti kevenisi uittamisen kautta, niin on meidän toistaiseksi pidettävä todennäköisenä, että puu voi kevetä jonkun verran uiton kautta. Edellä olevien lukujen perusteella voidaan sitäpaitsi päättää, ettei tämä keveneminen missään tapauksessa voi olla havupuulla 6—7 % suurempi. Kuinka suureksi se nousee lehtipuulla, on sitävastoin mahdotonta sanoa, mutta ei se niilläkään voi olla suurempi kuin 9 %, koskapa ei kukaan ole niillä sen suurempaa painon vähennystä huomannut.

3. Tuoreen puun paino.

Tuoren puun painolla on käytännössä sangen suuri merkitys. Puiden liikutteleminen metsässä ja metsästä on antanut aihetta sen tuntemiseen ja jo Praedium rusticum'issa on luokittelu, joka perustuu siihen.

Tuore puu on raskaampaa kuin kuiva puu, ja riippuu tämä seikka siitä, että tuoreessa puussa on enemmän vettä. Tuoreessa puussa voi olla vettä aina 60—70 % ja on vettä sekä solujen onteloissa että soluseinissä. Yleensä ei kuitenkaan kasvavan puun vesimäärä ole näin korkea, vaan vaihtelee se käytännöllisesti katsoen koko puussa 45 %:in ja 50 %:in välillä. Vesipitoisuus on erilainen pehmeissä havu- ja lehtipuissa, joissa se on suurempi, kuin kovissa lehtipuissa, joissa se on pienempi. Sitäpaitsi vaihtelee vesipitoisuus suuresti saman puun eri osissa. Kun n.k. tuoreen puun painoa tutkitaan, niin on huomattava, että puun poikkileikkauspinnasta alkaa heti kaadon jälkeen haihtua vettä ja on tämä haihtuminen luonnollisesti sitä suurempi mitä lämpimämpi ilma on. Tällä seikalla on merkityksensä puun painoja tuoreena määrättäessä. Jos tahdotaan tietää, kuinka paljon puussa on kasvaessaan vettä, on se luonnollisesti punnittava heti kaadon jälkeen tai jos punnitusta ei voida aivan heti suorittaa, on puu suojattava haihdunnalta esim. sivelemällä sen päätepinnat jollain ilmaa läpäisemättömällä aineella. Tällaista tarkkuutta ei kuitenkaan yleensä ole noudatettu puiden tuoretta painoa tutkittaessa ja senvuoksi ovatkin tutkimustulokset tässä erilaisia ja senvuoksi on myös usein sangen vaikea verrata eri tutkijoiden saamia lukuja toisiinsa.

Luulisi muuten olevan yksinkertaista laskea tuoreen puun paino kuivan painon perusteella, sillä itse asiassahan etupäässä veden lisäys on painon lisäyksen tärkein aiheuttaja. Näin ei ole kuitenkaan asian laita, sillä kuivuessaan puu kutistuu ja on tämä kutistuminen erilainen säteen, tangentin ja pituussuunnassa. Tästä syystä täytyisi myös voida laskea, millaiseksi puukappaleen volyymi on muuttunut, kun se esim. kuivana oltuaan on imenyt itseensä sen vesimäärän, joka siinä kasvaessaan oli. Mutta tämä laskelma on mahdoton suorittaa, ja senvuoksi ei olekaan mahdollista päästä selville puun tuoreesta painosta muuten kuin suoranaisen punnitsemisen avulla.

Sitävastoin voidaan tuoreen puun ja kuivan puun painon väliasteet, kun molemmat ovat tutkimalla otetut selville, siksi tarkkaan laskea, että näin saatuja arvoja jokseenkin pätevästi voidaan käyttää puiden painoa käytännöllisiä tarkoituksia varten määrättäessä. Tällöin käytetään CHEVANDIER'in ja WERTHEIM'in laatimaa seuraavaa kaavaa:

$$d = D\,[1 - c\,(F - f)],$$

jossa D merkitsee puun painoa tuoreena ja F sen kosteusmäärää tuoreena, f jonkun alemman kosteusasteen kosteusmäärää lausuttuna %:eissa tuoreesta painosta ja d alemman kosteusasteen ominaispainoa sekä c tuoreen painon muuntajakoeffisienttiä.

Kun c:n arvo tästä kaavasta lasketaan, saadaan:

$$c = \frac{F - f}{D - d}.$$

Selvää on, että puun painoon tuoreena vaikuttavat pääasiallisesti aivan samat seikat kuin sen painoon kuivanakin, mutta kaikkein suurimmassa määrässä siihen kuitenkin vaikuttavat ne seikat, joista riippuu, kuinka suuri vesimäärä puussa kulloinkin on. Tästä syystä voidaankin puun painoa tuoreena käsitellä hieman erilailla kuin sen painoa kuivana. Tämä riippuu siitä, että monien niiden seikkojen vaikutus tuoreen puun painoon, jotka huomattavasti lisäsivät tai vähensivät kuivan puun painoa, on mitättömän pieni. Tästä syystä voidaan jättää huomioonottamatta esim. sellaiset seikat kuin puun horisontaalinen ja vertikaalinen leveneminen ja solujen väriaine- ja hartsipitoisuus. Osaksi tullaan myös käsittelemään puun vesipitoisuutta, josta puun paino tuoreena niin suuressa määrin riippuu, erikoisena puun ominaisuutena, puun vesipitoisuutena, ja tästä syystä ei tässä yhteydessä syvennytäkään kaikkiin niihin ilmiöihin, jotka aikaansaavat muutoksia puun vesipitoisuudessa. Ne seikat, jotka tässä yhteydessä etupäässä ovat huomioon otettavat siitä syystä, että ne mahdollisimman itsenäisesti vaikuttavat juuri tuoreen puun painoon, ovat seuraavat:

a. Vuodenaikojen vaikutus tuoreen puun painoon;
b. Eri puunosan vaikutus;
c. Puun aseman vaikutus;
d. Kaatoajan vaikutus;
e. Maanlaadun vaikutus.

a. Kysymys vuodenaikojen vaihtelujen merkityksestä tuoreen puun painoon on hyvin läheisessä yhteydessä puun vesipitoisuuden vaihtelujen kanssa, joten tämä ilmiö lähemmin tulee käsiteltäväksi siinä yhteydessä kuin näistä asioista tarkemmin puhutaan. Mainittakoon tässä yhteydessä kuitenkin se seikka, että jo Nördlinger aikoinaan on todennut, että tuore puu on

raskaimmillaan talvella. NÖRDLINGER nim. mainitsee, että kaikkein keveintä on vastakaadettu puu kuivina kesinä, jolloin haihdunta on suurimmillaan ja kaikkein raskainta tavallisena talvena, jolloin puusta ei vesi pääse haihtumaan. Sitäpaitsi huomauttaa NÖRDLINGER, että puiden ominaispaino on suurin, jos se lasketaan juuri silloin kuin puu on jäätynyt ja varsinkin tulee pienten jäätyneiden puuosien ominaispaino suureksi.

Nämä NÖRDLINGER'in johtopäätökset ovat myöhemmin osottautuneet oikeiksi. Niiden tutkimusten kautta, jotka ROBERT HARTIG on tehnyt, ovat ne nim. saaneet vahvistusta, ja samantapaisiin tuloksiin ovat myös TH. HARTIG ja myöhemmin CIESLAR tulleet.

b. Puun paino tuoreena on luonnollisesti myös riippuvainen siitä, mistä puunosasta koekappale on otettu. Yleensä voidaan sanoa, että oksat myös tuoreina ovat raskain osa puusta. Sen jälkeen voidaan muu puu jakaa juurenniskaan, varsinaiseen tyvipuuhun ja latvukseen.

Tuoreen puun painovaihteluja rungonosittain on jo aikoja sitten tutkittu. Ensimmäinen, joka tällä alalla on tehnyt tutkimuksia, on Hessenkasselilainen metsänhoitaja BERGER, joka on tutkinut tässä suhteessa 95—100-vuotisia pyökkejä. Hän on ottanut puusta ensimmäisen koepalasen 6 hessenkasselilaisen jalan korkeudelta ja sen jälkeen aina 6 jalan päästä aina 72 jalan päähän asti ja punninnut jokaisen koekappaleen kölniläisissä nauloissa. Näitä BERGER'in lukuja on käyttänyt hyväkseen NÖRDLINGER, joka on koettanut saada selvää näistä merkillisistä mitoista. Kölnin nauloissa lausutut painot on hän muuttanut ominaispainoiksi, mutta mitä tuohon edellämainittuun hessenkasselilaiseen jalkamittaan tulee, niin on NÖRDLINGER tullut huomaamaan, että Hessen-Kasselissa on kokonaista 3 erilaista jalkamittaa ja toivoo hän niistä jumalan avulla löytäneensä oikean, kun hän otaksuu, että BERGER on käyttänyt hessenkasselilaista normaalijalkaa. Näistä hessenkasselilaisista tutkimuksista selviää, että puiden paino yleensä lisääntyy tyvestä latvaan päin. Muutamissa tapauksissa on alimmainen leikkaus selvästi raskaampi kuin leikkaukset siitä lähinnä ylöspäin, ja tämän jälkeen seuraa useimmiten leikkauksia aina 30—36 jalan korkeudelle asti, jotka ovat alinta leikkausta keveämpiä, mutta, joiden paino nousee ylöspäin. Alinta leikkausta raskaammaksi käy puu yleensä 30 jopa vasta 40 jalan korkeudella.

Selvemmin on HUNDESHAGEN esittänyt tutkimuksensa, jotka käsittävät 90—130-vuotisia pyökkejä, kuusia ja hopeakuusia. Nämä tut-

kimukset ovat tehdyt siten, että ensimmäinen leikkaus on otettu 1 m korkeudella ja seuraavat leikkaukset aina metrin päässä siitä, ja alimmaisen leikkauksen painoksi on merkitty 1.000 ja muut leikkaukset ovat arvostellut tätä yksikkönä pitäen. Hundeshagen'in tutkimukset osottavat, että puu yleensä on keveimmillään noin 6 m korkeudella ja että se saavuttaa saman painon kuin 1 m korkeudella vasta noin 10 m korkeudelta alkaen, ja sen jälkeen kohoaa puun paino suuresti katsoen sen mukaan mitä korkeammalle tullaan. Myöskin Wedekind on tutkinut tätä asiaa, tosin hieman toisella tavalla. Hän on jakanut puun runkopuuhun, kantopuuhun, risupuuhun ja oksapuuhun ja tullut huomaamaan, että männyllä on risupuu (pienimmät oksat) kaikkein raskainta, sen jälkeen seuraa järjestyksessä: oksat, sitten kanto ja viimeiseksi runko. Sama on asianlaita myös kuusipuulla, vaikka tästä ei ole täyttä varmuutta senvuoksi, ettei ole tutkittu oksien painoa. Pyökillä ovat risut raskaimmat, sen jälkeen seuraa kanto, sen jälkeen oksat ja viimeiseksi runko. Tammella taas ovat raskaimpia risut ja kanto, jotka ovat yhtä raskaat, sen jälkeen seuraa runko ja viimeiseksi oksat.

Hyvin ansiokkaita tutkimuksia on tällä alalla tehnyt Th. Hartig, joka on tutkinut samalla myös koko rungon painoa. Hänen tutkimuksensa koivuun nähden osottavat, että koivujen latvaosat yleensä ovat raskaampia kuin tyviosat, mutta että varsinaisen rungon paino vaihtelee verrattain epäsäännöllisesti.

Meillä on metsänhoitaja Laaksonen tehnyt tällä alalla jonkun verran tutkimuksia 7:stä eri paikoilla kasvaneesta männystä ja ovat nämät tutkimukset jokseenkin yhtäpitäviä tuloksiltaan niiden tutkimusten kanssa, joita edellä on esitetty. Ne osottavat, että paino kasvavassa männyssä alenee jotakuinkin jyrkästi tyvestä noin rinnankorkeudelle, siitä hitaammin noin $^4/_{10}$:n vaiheille tyvestä lukien, jonka jälkeen se alkaa nousta ensin hitaammin, noin $^7/_{10}$:n paikkeille, ja sittemmin jyrkästi aina latvaan asti. Noin $^8/_{10}$:n vaiheilla on ominaispaino yli 1.00 ja latvassa on se 1.17.

Koska puu, jonka ominaispaino on yli 1, painuu vedessä pohjaan, niin on tärkeätä tietää, mitkä osat vastakaadetusta puusta ovat tätä raskaammat. Jos on kysymys tukkipuista, niin näin raskaita osia löydetään vasta latvuksen sisältä, ja siis sitä alempana, mitä alemmaksi latvus puulla ulettuu. Tämä pitää kuitenkin paikkansa havupuihin nähden, sillä lehtipuissa voidaan tällaisia osia löytää alempanakin, melkeinpä missä rungonosassa tahansa. Sitävastoin voi juurenniskan paino usein kohota lähelle 1, varsinkin silloin kuin on kysymys hyötykasvuisesta puusta.

Myös tämän kirjoittaja on tutkinut tätä asiaa, erikoisesti ottaakseen selvää siitä, mitkä osat puusta ovat uppoamisen vaarassa, ellei puu saa olla tarpeeksi pitkää aikaa kuivumassa. Tästä syystä tutkittiin kaikkein ensiksi puiden paino heti kaadettua, sillä tavalla, että kaadettu puu jaettiin metrin pituisiin pätkiin, joiden ominaispaino kuoripäällisenä ottaen huomioon SMALIAN'in korrektio mitattiin. Sitäpaitsi mitattiin myös 10 sm pituisen kantokiekon ominaispaino. Tutkimukset koskivat kuusta ja koivua Siikakankaan harjoitusalueella. Tällöin osottautui, että koivun ominaispaino tuoreena melkein koko rungolla oli suunnilleen samanlainen s.o. epäsäännöllisesti vaihteleva jokseenkin suurilla intervalleilla (0.072 ja vähemmän), ja että koivupuun juurenpuoleiset osat eivät suinkaan olleet raskaampia kuin siitä ylöspäin lähinnä olevat osat, vaan paremminkin päinvastoin. Tämän jälkeen ei myöskään voitu erottaa mitään huomattavaa painon lisäystä latvukseen kuuluvassa osassa. Kuorineen kaadettu kuusi taas osotti ehkä samantapaisia painonvaihteluita kuin LAAKSOSEN tutkimat männyt, vaikka erot eri korkeuksilla mitattujen painojen välillä olivat sangen pienet, ollen suurin ero rungolla noin 0.030 ja suurin ero koko puun suurimman ja pienimmän painon välillä 0.035.

Sellaisen painon, jossa puu uppoaa veteen, saavuttaa kuusi vasta hyvin lähellä latvaa, tukkipuunmittainen kuusi suunnilleen vasta siellä, missä viimeinen paperipuumitta jo on otettu. Voidaan sanoa, että männyssä ja koivussa on paljon sellaisia osia, jotka uppoavat, jos puu heti kaadettua tulee veteen, jotavastoin näitä osia ei koivussa voi niin helposti määritellä, sillä koivun paino vaihtelee epätasaisesti rungon osien kesken, mutta yleensä voitanee kuitenkin sanoa, että koivun alin tyvitukki ui parhaiten ja sitä paremmin mitä lyhempi se on, jotavastoin muut osat melkein heti painuvat pohjaan. Männyllä taas painuvat pohjaan, jos puu heti kaadon jälkeen heitetään veteen, sangen lyhyen ajan kuluttua ne rungon osat, jotka ovat suunnilleen paperipuunmittaisia ja sitä pienempiä.

Tuoreessa puussa on pintapuu yleensä raskaampaa kuin sydänpuu. Pintapuuhan on se osa, jossa vesi liikkuu, ja koska siinä soluontelot ja myöskin soluseinät ovat miltei vedellä kyllästetyt, niin on pintapuu useimmiten raskaampaa kuin vesi, s.o. sen ominaispaino on enemmän kuin 1. Edelleen on R. HARTIG'in tutkimusten mukaan pintapuun ulommainen rengas raskaampi kuin sisemmät osat. Sydänpuu on siis aina keveämpää kuin pintapuu, vieläpä lehtipuillakin, vaikka se niillä usein on sangen vesirikas. Havupuilla taas on ero tässä suhteessa huomattava,

joka riippuu siitä, että, kun pintapuun vesipitoisuus havupuulla on yli 50%, on se sydänpuussa ainoastaan noin 15 %. Tuoreen puun painoa voidaan siis oikeastaan sangen helposti myös arvostella sen perusteella, kuinka paljon puussa on sydänpuuta, ja ovat siis aina ne osat tuoreessa puussa, joiden sydänpuu-% on pieni, raskaimmat.

c. Samalla tavalla kuin puun asema metsikössa vaikuttaa kuivan puun painoon, on sillä luonnollisesti myös vaikutuksensa tuoreen puun painoon. Tätä vaikutusta on m.m. tutkinut Th. Hartig, joka on tutkinut tässä suhteessa hyvin useita puulajeja, m.m. koivua, valkopyökkiä, pyökkiä, saarnia, lehtikuusta, weymouthmäntyä, tammea, jalavaa sekä senlisäksi useita muita tekniikassa vähemmänarvoisia puita, joten hänellä tätä tutkimusta varten on ollut erittäin laaja materiaali. Tutkimuksen tuloksena mainittakoon, että vallitsevien luokkien puiden paino oli keski-ikäisessä koivumetsässä kuorineen 0.894, II-runkoluokan 0.909, III-luokan 0.864, 110-vuotisessa pyökkimetsässä oli vallitsevan luokan tuore paino 0.971 ja II-luokan 0.969, siis tällä kertaa oli vallittu luokka keveämpi. Eräässä 80-vuotisessa pyökkimetsässä taas oli vallitun luokan paino 1.024, jotavastoin vallitsevan luokan paino oli 0.989. 30-vuotisessa pyökkimetsässä taas oli I-luokan puiden paino, 1.042 ja II-luokan 1.050, III-luokan 1.077 ja IV-luokan 1.148, joten siis puiden paino tässä tapauksessa säännöllisesti kasvaa sitä mukaa mitä varjostetumpaan luokkaan tullaan. Samantapaisiin tuloksiin tullaan myös, kun tarkastetaan muita puulajeja koskevia tutkimuksia.

Voitanee jo tämän perusteella pitää todennäköisenä, että yleensä vallittujen luokkien puiden ominaispainot ovat suuremmat kuin vallitsevien luokkien. On kuitenkin huomattava, että nämä tutkimukset koskevat ainoastaan runkopuuta. Jos verrataan toisiinsa puiden latvusosien painoa, niin tullaan hieman erilaisiin tuloksiin. Niinpä esim. Hartig'in esittämässä koivututkimuksessa painoivat kaikkein enimmän vallitsevien luokkien latvusosat tai oli ero sangen mitätön, esim. valkopyökillä tuskin huomattava. Käytännössä on asia vielä jyrkemmin huomattavissa senvuoksi, että yleensä pienet puuosat kuivuvat nopeammin kuin suuret. Tästä syystä ovatkin yleensä vallittujen puiden latvukset keveämpiä kuin vallitsevien, ja tätä lisää vielä se, että oksien tyvileikkausten pinta-ala pieniläpimittaisissa puissa on suhteellisesti suurempi kuin puissa, joilla on suurempi läpimitta.

Se, mitä edellä on sanottu puun asemasta metsikossa, voidaan myöskin sovelluttaa yleensä puun harvempaan ja tiheämpään asemaan, niin että siis sellaiset puut, jotka kasvavat harvoissa tai siemenpuu-asennossa

olevissa metsissä, ovat yleensä keveämpiä kuin ne puut, jotka kasvavat tiheissä metsiköissä.

Yleensä on tuoreen puun painoa tutkittaessa käytetty xylometristä menettelytapaa. Niistä virheistä, joita sen yhteydessä esiintyy on jo ennen mainittu. Suurin osa xylometrisistä mittauksista on kuitenkin tehty ilman mitään korrektiota ja sen vuoksi ovatkin puun tuoretta painoa osottavat luvut yleensä epäluotettavat, joten tässäkin suhteessa on tutkimuksella vielä laaja työala.

d. Kaatoajan vaikutus tuoreen puun painoon on asia, jota on verrattain vähän tutkittu. NÖRDLINGER mainitsee, että talvella kaadettu puu ja varsinkin talvella kaadetun puun pintapuuosat ovat jonkun verran raskaampia kuin kesällä kaadettu. GAYER taas mainitsee olevan täysin varmaa, että puun vesipitoisuus vaihtelee sangen huomattavissa määrin vuodenaikojen mukaan. Hän on tullut siihen tulokseen, että vesipitoisuus on tuoreissa lehtipuissa pienin talvella ja havupuissa pienin keväällä, sangen suuresti kuitenkin vaihdellen kunkin puulajin laadun mukaan.

Tarkempien tutkimuksien puutteessa on vaikeata sanoa, kuinka tämän asian laita todellisuudessa on. Että lehtipuiden paino on korkeimmillaan keväällä, on seikka, jota voidaan pitää jokseenkin varmana. Mutta, kuinka sitten on käsitettävä se asia, että havupuut olisivat raskaimmillaan keväällä? Tähän kysymykseen ei nykyinen tutkimus anna tyydyttävää vastausta, ja niinpä mainittakoonkin, että esim. GRABNER'in mukaan lehtipuun pitäisi saavuttaa suurimman painonsa helmikuussa ja havupuut saavuttaisivat suurimman painonsa jo marraskuussa. Näin ollen onkin todennäköisintä, että havupuut yleensä ovat raskaimmillaan jonakin aikana talvesta, jotavastoin lehtipuut ovat raskaimmillaan kevättalvella tai keväällä.

e. Maanlaadun vaikutus tuoreen puun painoon on suurin piirtein sama kuin sen vaikutus kuivankin puun painoon. Kun kuitenkin sellainen puu, jonka vuosilustot ovat leveät, ja jonka soluontelot ovat suuret, kykenee imemään itseensä paljon enemmän vettä kuin puu, joka on kaikin puolin tiivisrakenteisempi, niin täten suurempi vesimäärä tasoittaa niitä painon eroavaisuuksia, jotka maanlaadun vaikutuksesta huomataan kuivassa puussa. Kuten edellä mainittiin, on tuoreen puun paino hyvin suuressa määrin riippuvainen siitä, kuinka suuri osa sen puuaineesta on pintapuuta. Tästä syystä onkin tuore puu aina

raskaampa silloin kuin sen pintapuu-% on mahdollisimman suuri. Hyvin usein on juuri hyvillä ja sangen hyvillä maaperillä kasvaneissa puissa pintapuu-% sangen suuri, ja tästä syystä on tuoreen puun paino hyvillä maaperillä usein huomattavasti suurempi kuin huonoilla. Tätä osottavat m.m. HUNDESHAGEN'in ja BERGER'in tutkimukset, joiden mukaan basalttimaalla kasvaneet, noin 100-vuotiset tammet, olivat huomattavasti raskaampia kuin hiekkamaalla kasvaneet.

Jos sitävastoin ei ole kysymys erikoisen hyvistä maanlaaduista, ja jos siis sydänpuumäärä ei tuntuvasti vaihtele, niin ei myöskään ole olemassa niin suuria eroja tuoreen puun painoissa eri maanlaaduilla.

Yhdessä suhteessa vaikuttaa maaperä kuitenkin sangen tuntuvasti tuoreen puun painoon. Sen vaikutus tulee nim. kaikkein parhaiten näkyviin silloin kuin tutkitaan puun kantoa lähinnä olevien osien ja äärimmäisten latvusosien painoa. Ne ovat nim. hyvällä maalla sangen huomattavassa määrässä raskaammat kuin huonolla. Erittäinkin pitää tämä paikkansa puun latvusosiin nähden, jotka siis ovat hyvällä maalla huomattavasti raskaammat kuin huonolla.

Edellä mainittiin, että yleensä sydänpuun määrä lopulta on tärkein tekijä arvosteltaessa tuoreen puun painoa. Tutkimuksia siitä, vaihteleeko sydänpuun määrä maanlaadun mukaan, ei ole olemassa. Todennäköisesti ei kuitenkaan näin ole asian laita, vaan on sydänpuumuodostuksella aivan omat erikoiset lakinsa, joten tässä suhteessa ei yleistä kaikkia puulajeja koskevaa sääntöä voida antaa. Mitä meidän mäntyymme tulee, niin on sen sydänpuun painolla huomattava ero pintapuun painoon verraten. Kuusella taas on ero pienempi, osaksi senkin tähden, että kuusen sydänpuuosat sisältävät huomattavasti vähemmän hartseja ja pihkaa kuin pintapuuosat. Sellainen mäntypuu, jossa on runsaasti sydänpuuta, ja huomattava on, että tällaista mäntypuuta voi myös löytyä sangen hyvillä, jopa erikoisen hyvillä maanlaaduilla, on huomattavasti keveämpää kuin mäntypuu, jossa ei ole sydänpuuta.

HOLMERZ ja ÖRTENBLAD ovat Norrbotten'in metsiä tutkiessaan tulleet siihen tulokseen, että sydänpuuta muodostuu aikaisemmin nopeasti kasvaneissa puissa kuin hitaasti kasvaneissa. Jos samanikäisiä puita verrataan toisiinsa, niin on siis nopeakasvuisilla ja suurempimittaisilla puilla suhteellisesti enemmän sydänpuuta kuin hitaasti kasvaneilla ja pienempimittaisilla. Jos näin on asian laita, niin tämäkin seikka puolestaan todistaa sen olettamuksen oikeutta, että kuivan puun paino ei osoita suhteellisesti katsoen siksi suuria vaihteluita kuin tuoreen puun paino.

Käytettyä kirjallisuutta:

BAUR, F.: IV Untersuchungen über den Festgehalt und das Gewicht der Hölzer. (Monatschrift für das Forst- und Jagdwesen 1874).

BÜHLER, A.: Untersuchungen über die Qualität des im lichten und im geschlossenen Stand erwachsenen Tannen- und Fichtenholzes. (Schweitzerische Zeitschrift für das Forstwesen, 1889.)

V. BULTEJUS: Untersuchungen über das Gewicht verschiedener Nutz- und Brennholz-Sortimente der häufigeren Holzarten im grünen und Waldtrockenen Zustand. (Forstliche Blätter, 1878.)

BÖHMERLE, EMIL: Das waldtrockne Holz in Bezug auf dessen Festgehalt und Gewicht im Raummasse. Wien 1879.

CHEVANDIER & WERTHEIM: Recherches sur la composition élémentaire des differents bois. Paris lu à l'Académie des Sciences le 20 jan. 1845.

FOREST PRODUCTS LABORATORY, Madison Wisconsin, Washington 1923.

GAYER, KARL: Die Forstbenutzung, 8 Aufl. Berlin 1894.

HARTIG, ROBERT: Das spezifische Frisch und Trockengewicht, der Wassergehalt und das Schwinden des Kiefernholzes. Berlin 1874.

— Der Einfluss des Baumalters und der Jahringbreite auf die Beschaffenheit des Holzes. (Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 1884.)

— Das Holz der deutschen Nadelwaldbäume. 1885.

— Ueber den Einfluss der Erziehung auf die Beschaffenheit des Holzes der Waldbäume. (Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen. 1897.)

— Das Holz der deutschen Nadelwaldbäume. 1901.

HARTIG, TH.: Forstculturpflanzen Deutschlands. 1840.

— Ueber das Verhältniss des Brennwerths verschiedener Holz- und Torfarten. Braunschweig 1855.

— Anatomie und Physiologie der Holzpflanzen. Berlin 1878.

HUNDESHAGEN: Beiträge zur gesammten Forstwissenschaft. I. Band, 3 Heft.

KEGHEL, M. DE: Traité de la conservation et de l'amélioration des bois. Paris 1921.

KESTERČANEK, FRANZ X.: Das spezifische Gewicht diverser in Obercroatien und den croatischen Küstenlande heimischer Holzarten (Centralblatt für das gesammte Forstwesen, 1880, S. 127.)

MOHR, CHARLES, ROTH FILIBERT: The timber of the Southern United States.

NÖRDLINGER, H.: Die Ringbreite allein noch kein Massstab für die Güte des Holzes. (Kritische Blätter, 48 Band, I Heft. 1866.)

— Einfluss des Lichtstandes auf die Beschaffenheit des Föhrenholzes. (Cbl. f. d. g. F. 1875.)

— Liegt an shiefen Bäumen das bessere Holz auf der dem Himmel zugekehrten oder auf der unteren Seite. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen. 1898.)

— Saftgehalt der Bäume und spezifisches Gewicht des Holzes. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen, 1879.)

— Weitere Betrahtungen über spezifisches Grüngewicht, Saftgehalt und spezifisches Trockengewicht der Hölzer. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen, 1880.)

— Wo erwächst gutes Lärchenholz? (Centralblatt für das gesammte Forstwesen, 1885.)

RUMFORD: Recherches sur les bois et le charbon. Paris 1812.

SCHWAPPACH, A.: Beiträge zur Kenntnis der Qualität des Rothbuchenholzes. (Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, 1894).
— Untersuchungen über Raumgewicht und Druckfestigkeit des Holzes wichtiger Waldbäume, u.s.w. I. Die Kiefer. Berlin 1897.
— Untersuchungen über Raumgewicht und Druckfestigkeit des Holzes wichtiger Waldbäume. II. Fichte, Weymonthskiefer und Rotbucke. 1898.
SMALIAN: Beitrag zur Holzmesskunst. Stralsund 1837.
V. WERNECK, LDW. FRDR. FRZ: Physikalisch-chemische Abhandlungen über die spezif. Gewichte der vorzüglichsten deutschen Holzarten und ihre verschiedene Brennkraft als Holz u. Kohlen. Giessen & Darmstadt. 1808.

B. Puun vesipitoisuus.

Puun vesipitoisuudella (engl. moisture) ymmärretään puun kykyä haihduttaa ja imeä itseensä vettä sekä kaikkia niitä ilmiöitä, jotka esiintyvät puussa näiden tapahtumien yhteydessä.

Eräät käytännölliset asianhaarat puun käytössä ovat johtaneet siihen, että puuta, niinkuin edellä on jo mainittukin, käytetään silloin kuin se on saavuttanut vissit kosteusasteet. Nämä kosteusasteet ovat seuraavat:

1. Vastakaadettu l. tuore puu. Tällaisena käsitellään puuta heti sen jälkeen kuin se on metsässä kaadettu. Koko puun kuljetus maitse ennenkuin puutavaraa on jalostettu, käsittelee siis juuri pääasiallisesti tällaista puuta. Tällaisen vastakaadetun puun vesipitoisuus vaihtelee suuresti puulajin mukaan. Kaikkein enimmän vettä sisältävät kevyet lehti- ja havupuut, joiden vesipitoisuus on keskimäärin 45—55 %. Näihin puulajeihin kuuluvat esim. haapa, hopeakuusi, lehmus ja weymouthmänty. Sen jälkeen seuraavat ne puulajit, joiden vesipitoisuus on 35—45 %, ja näihin puulajeihin kuuluvat esim. mänty, kuusi, lehtikuusi, tammi, vaahtera, jalava ja valkopyökki. Lopuksi tulevat ne puulajit, joissa tuoreenakin on vettä alle 35 %, ja näihin kuuluvat saarni ja pyökki.

2. Metsäkuiva puu on taas sekin soveltuva useihin käytännöllisiin tarkoituksiin. Pyökki ja saarni sekä usein tammikin palavat jo melkein heti kaadon jälkeen. Muiden puulajien täytyy sitävastoin kuivaa ennenkuin niitä voidaan polttaa, ja se kuivuusaste, jossa puita yleensä voidaan käyttää polttopuuna, on metsäkuiva aste. Metsäkuivalla asteellaan on puulla myös se ominaisuus, että sitä voidaan käyttää ulkoseiniin ilman, että se niissä muuttaa muotoansa. Tässä asteessaan puu sisältää 25—30 % vettä.

3. Vajakuiva l. lautatarhakuiva puu on sekin käytännöllisiltä ominaisuuksistaan hieman erilainen kuin edellinen. Tässä kuivuusasteessaan sopii puu parhaiten polttopuuksi. Se palaa helpommin kuin edellisessä kuivuusasteessa ja käytännöllisesti katsoen ei lämmittäessä mene liika suurta polttoainemäärää hukkaan kosteuden haihduttamiseen puusta. Mitä taas tulee sahattuun ja veistettyyn puutavaraan, niin on mainittava, että ne vielä tässä kuivuusasteessa suuresti katsoen säilyvät halkeamatta.

Tällainen vaja- ja lautatarhakuiva puu sisältää hyvin erilaiset määrät vettä vaihdellen sen vesimäärä 8—25 %. Tämä riippuu pääasiallisesti ympäröivän ilman kosteusmäärästä, sillä vajakuiva ja lautatarhakuiva puu sisältävät vettä suunnilleen yhtä paljon kuin niitä ympäröivä ilma ja tästä syystä vaihteleekin niiden vesipitoisuus ympäröivän ilman relatiivisen kosteuden mukaan. Tämä määrä riippuu myös siitä, miten puu on paloiteltu ja miten paljon se sisältää sydänpuuta.

4. Kuiva l. huonekuiva puu on taas saanut kuivaa tavallisessa asuin- tai muussa samaan tapaan lämmitetyssä huoneessa siksi, kunnes se on saavuttanut ympäröivän ilman kosteusmäärän. Tällöin on sen vesipitoisuus 4—12 %. Myöskin tällaisella puutavaralla on omat ominaisuutensa. Tässä asteessa puutavara ensinnäkin halkeilee käytännöllisesti suurimman määränsä ja tässä asteessa saavuttaa se ko'on, joka ei puun huoneessa ollen käytännöllisesti katsoen muutu.

5. Absoluutisesti kuivalla puulla on merkitystä esim. kemiallisia tutkimuksia varten. Tässä asteessa on puuaineella tarkasti määriteltävä kemiallinen kokoomuksensa, ja senvuoksi saatetaan puu tähän tilaan sitä kemiallisesti tutkittaessa. Löytyy luonnollisesti muitakin tieteellisiä tarkoituksia, joihin absoluuttisesti kuivaa puuta tarvitaan.

Nämä kosteusasteet johtuvat siitä, kuinka vesi on puun eri osiin, mantopuuhun, sydänpuuhun, soluonteloihin, soluseinän huokosiin, soluseiniin j.n.e., sijoittunut. Tutkittaessa sitä, mitkä seikat saavat aikaan kunkin yllä luetelluista kuivuusasteista, on seurattava veden haihtumista puusta. Toiselta puolen tavataan luonnossa myös päinvastainen ilmiö, nim. veden imeytyminen puuhun. Jos siis absoluutisesti kuiva puu asetetaan ilmaan, niin alkaa se imeä itseensä vettä tullen hyvin pian samaan kosteusasteeseen kuin ympäröivä ilma. Tässä suhteessa on ilmiö samantapainen kuin haihdunta siten, että ne puulajit ja puunosat, jotka helposti haihduttavat vettä myöskin helposti sitä imevät. Veden imeytyminen puuhun käy vielä suuremmaksi, jos puu upotetaan veteen.

Puun vesipitoisuutta tutkiessa on pääasiallisesti kiinnitetty huomio seuraaviin seikkoihin:

1. Puun absoluutinen vesipitoisuus;
2. Puun kuivumisilmiö;
3. Puun veden imemis- ja uppoamisilmiö;
4. Vesipitoisuuden vaihteluista johtuvat puun ko'on muutokset.

1. Puun absoluutinen vesipitoisuus.

a. Puun kuiva paino merkitsee puun vesipitoisuuteen nähden sitä, että yleensä puu voi saavuttaa sitä suuremman vesipitoisuuden, mitä pienempi ominaispaino sillä on l. toisin sanoen puun vesipitoisuus on kääntäen verrannollinen puun ominaispainoon. Tämän lain on jo NÖRDLINGER aikoinaan esittänyt, ja on hän tullut tähän lakiin tutkiessaan saman puun eri osien tuoretta painoa ja puun anatoomista rakennetta. NÖRDLINGER huomasi, nim. sen seikan, että mitä keveämpää puu on, sitä suuremmat ovat sen soluontelot ja sitä pienempi on myös soluontelojen volyymi koko puun volyymiin verraten. Suurin osa puussa olevasta vedestä, jota NÖRDLINGER kutsuu mahlavedeksi (Saftwasser), sijaitsee juuri soluonteloissa, ja senvuoksi onkin aivan luonnollista, että soluonteloiden suhteellisesta laajuudesta solun koko kuutiosisällykseen verraten riippuu se seikka, kuinka paljon puu yleensä voi sisältää vettä.

Uudempi tutkimus ei ole kovin paljon voinut valaista tätä asiaa, ainoa edistysaskel tässä suhteessa on käsite ontelokuutio (porvolym), jolla ymmärretään lukua, joka saadaan seuraavasta kaavasta:

ontelokuutio $= \frac{\text{ominaispaino}}{1.56}$, jossa käytetään puun ominaispainona sen absoluuttisesti kuivaa painoa.

Alla oleville ominaispainoille ovat (ENEROTH) soluseinä- ja huokos%:it seuraavat:

	soluseinä-%	huokos-%
0.30	19	81
0.40	26	74
0.50	32	68
0.60	39	61
0.70	45	55
0.80	49	51

Nämä luvut osottavat, että ensinnäkin meidän oloissamme kaikilla puulajeilla on soluseinien kuutio pienempi kuin soluonteloiden + soluhuokosten kuutio, ja toiseksi nähdään, että mitä suuremmaksi ominaispaino kohoaa, sitä vähemmän jää tilaa huokosille ja soluonteloille ja sitä enemmän siis voi puuhun mahtua vettä.

b. Puulajilla on merkityksensä vesipitoisuuteen siten, että yleensä sellaiset puulajit, jotka ovat kuivina keveitä, niinkuin esim. haapa, poppelilajit, leppä, mänty ja kuusi, sisältävät painostaan suuremman %-määrän vettä kuin raskaammat puulajit, niinkuin esim. tammi,

pyökki, robinia, jalava, päärynäpuu ja omenapuu ja siperialainen lehtikuusi.

Kuinka suuri eri puulajien nestepitoisuus (Saftgehallt) on, siitä ei ole laajempia tutkimuksia. Jonkunmoisen käsityksen siitä kuitenkin antavat seuraavat tutkitut yksityistapaukset.

Th. Hartig'in mukaan vaihteli koivun vesipitoisuus 0.35—0.41 nuorissa puissa ja 0.28—0.36 vanhoissa puissa ja samoin 90-vuotisen valkopyökin 0.32—0.41. Schubler'in tutkimusten mukaan vaihteli kuusen vesipitoisuus 0.53—0.61, pähkinäpuun oli 0.41—0.49, hevoskastanjan 0.40—0.47, tavallisen vaahteran 0.34—0.40 ja saarnin 0.29—0.39.

Nämä luvut osottavat siis sen, joka jo edellä on mainittu, nim., että vesipitoisuus on jokseenkin läheisessä yhteydessä puun ominaispainon kanssa. Nämä luvut, jotka edellä ovat mainitut, osottavat vesipitoisuutta lausuttuna $^1/_{100}$:ina tuoreen puun painosta, ja voidaan tällaisia lukuja siis likimääräisesti laskea kullekin puulajille, kun sen paino tuoreena ja absoluutisesti kuivana tunnetaan. Hyvin usein on kuitenkin laskuissa tehty se erehdys, että on tuoreen puun painosta vähennetty huonekuivan puun paino ja tällä tavalla on luonnollisesti saatu hieman pienempiä lukuja kuin edellisessä tapauksessa. Sitäpaitsi on joskus myös lausuttu nämä luvut %:eina puun volyymistä tuoreena.

Käytännöllisiä tarkoituksia varten riittää, kun lausutaan nämä luvut %:eina tuoreen puun painosta, ja silloin on paras käyttää Exner'in luokittelua, jonka mukaan tuoreen puun vesipitoisuus on

havupuilla	0.57
keveillä lehtipuilla	0.52
raskailla lehtipuilla	0.42

jotka luvut osottavat vuosittaista keskimäärää.

c. Puun asemalla metsikossa on tässä suhteessa ratkaiseva merkitys. Tutkimuksista mainittakoon Th. Hartig'in tutkimukset, joiden mukaan esim. koivun vesipitoisuus oli vallitsevassa runkoluokassa 0.41, II runkoluokassa 0.37, ja III runkoluokassa 0.35, sekä samoin Hartig'in tutkimukset valkopyökille, jotka osottivat, että I runkoluokan vesipitoisuus oli 0.32, II runkoluokan 0.36, III runkoluokan 0.35, IV runkoluokan 0.38, V runkoluokan 0.41, VI runkoluokan 0.38, VII runkoluokan 0.41 ja VIII runkoluokan 0.41. Nämä numerot osottavat siis tutkittuihin puulajeihin nähden, että vesipitoisuus yleensä on

suurempi vallitsevissa runkoluokissa ja vähenee vallittuihin runkoluokkiin päin. Ei ole epäilystäkään siitä, ettei asian laita olisi sama kaikkiin puulajeihin nähden, tärkein asia on oikeastaan tarkastaa itse absoluutisia lukuja, ja silloin huomataan, että ero vesipitoisuuden välillä eri luokissa on sangen tuntuva, vaihdellen 6—9 % puun koko tuoreesta painosta.

d. Eri rungonosien vesipitoisuudella on käytännössä merkityksensä esim. tukinuitossa, puutavaran kuljetuksessa j.n.e. Jos aletaan puun alimmaisesta osasta, s.o. juuresta, niin on sen vesipitoisuus sangen suuri ja sitä suurempi mitä nuorempi ja pienempiläpimittainen kyseenalainen juurenosa on. Juuren vesipitoisuus voi TH. HARTIG'in mukaan olla noin 0.70, ja on saman tutkimusten mukaan esim. 2—3 tuuman läpimittaisessa koivunjuuressa 0.56. Oksat sisältävät huomattavasti vähemmän vettä kuin juuret siten, että luonnollisesti pienemmät oksat sisältävät enemmän, esim. koivulla 0.42, pyökillä 0.45 ja suuremmat oksat, yli 2 tuumaa koivulla 0.36.

Jo ennen on mainittu, että pintapuu sisältää yleensä enemmän vettä kuin sydänpuu. Käytännöllisesti katsoen voidaan sanoa, että kasvavan havupuun pintaosissa on keskimäärin 50 % vettä (MAYR). Sitäpaitsi on sama tutkija huomannut, että havupuilla yleensä on sydänpuuvesipitoisuus 15 %, joten siis sydän- ja pintapuun vesipitoisuusero on 35 %. Lehtipuiden keskimääräinen vesipitoisuus on jonkun verran pienempi, useissa tapauksissa ehkä 45 %, mutta sitävastoin ei ero pinta- ja sydänpuun vesipitoisuuden välillä ole niin suuri kuin havupuissa, joten lehtipuunkin sydänpuu sisältää noin 15 % vettä, usein enemmänkin, aina 18 % asti. Yleensä voidaan MAYR'in mukaan pitää pintapuun keskimääräisenä vesipitoisuus-%:na lukua 0.45, joka luku on siis keskimäärä tavallisimmille eurooppalaisille puulajeille kaikkina vuodenaikoina.

Jos taas tarkastetaan vesipitoisuuden vaihtelua rungon eri osissa, niin on esim. TH. HARTIG huomannut, että vesipitoisuus nousee sitä mukaa mitä ylemmäksi puussa tullaan, kunnes on saavuttu johonkin vissiin korkeuteen, jonka jälkeen vesipitoisuus taas alkaa laskea. Tämä korkein vesipitoisuusmäärä saavutetaan eri korkealla eri runkoluokissa niin, että se esim. vallitsevissa puissa tavataan $^9/_{11}$ korkeudella, II luokassa $^6/_9$ korkeudella, III luokassa $^6/_9$ korkeudella. Tämä siis osottaa, että mitä syrjäytetympään luokkaan puu kuuluu, sitä suhteellisesti korkeammalle siirtyy se piste, jossa puu saavuttaa vesipitoisuusmaksiminsa. Nämä HARTIG'in tutkimukset koskevat ainoastaan koivua. Myös NÖRDLINGER on tutkinut asiaa ja mainitsee johtopäätöksensä suunnilleen seuraavasti: »Jos ajatellaan, että annettaisiin tehdä seiväs, joka olisi koko puun pitui-

nen ja otettu puun keskeltä sekä ulettuisi puun latvaan asti, niin kohoaisi tämän seipään vesipitoisuus aina sitä mukaa mitä korkeammalle tullaan. Tätä sääntöä rikkovat ainoastaan oksat ja oksien tienoot, jotka ovat milloin sangen vesipitoisia ja milloin taas kuivia. Jos tangolle sattuu paljon eläviä sivuoksia, niin kohottavat nämä luonnollisesti vesipitoisuutta. Tästä syystä alkaa vesipitoisuus nousta sieltä, mistä terveet ja elinvoimaiset oksat alkavat latvaan päin. Laki on siis itse asiassa sama kuin se, joka edellä jo on mainittu tuoreen puun painon vaihteluista rungon eri osien mukaan.»

e. Vuodenajan vaikutuksesta puun vesipitoisuuteen on vanhimpina aikoina yleensä ollut se käsitys, että puu sisältää enimmän vettä nestenousun aikana keväällä. Ensimmäinen, joka rupesi tätä asiaa epäilemään oli Duhamel du Monceau. Hän antoi kaataa jouluk. 1732—marrask. 1733 välisenä aikana joka kuukausi 8 yhtä vanhaa tammea, joista hän otti kustakin 25 samanmittaista koekappaletta samoilta paikoilta puussa, jotka hän heti punnitsi. Tulokset olivat seuraavat:

joulukuussa 1732	340,718
tammikuussa 1733	340,906
helmikuussa »	328,031
nämät kuukaudet yhteensä	1,009,655
maaliskuu 1733	331,087
huhtikuu »	311,875
toukokuu »	319,500
nämät kuukaudet yhteensä	962,462
kesäkuu 1733	297,312
heinäkuu »	297,250
elokuu »	314,469
nämät kuukaudet yhteensä	909,031
syyskuu 1733	306,875
lokakuu »	328,906
marraskuu »	331,000
nämät kuukaudet yhteensä	966,781

Jos kukin kuukausi järjestetään painolukunsa mukaan, niin tulevat ne seuraavaan järjestykseen: tammikuu, joulukuu, maaliskuu, marraskuu, lokakuu, helmikuu, toukokuu, elokuu, huhtikuu, syyskuu, kesäkuu ja heinäkuu. Jo näiden tutkimuksien perusteella voidaan, kun jätetään maaliskuun numero huomioon ottamatta, koska se on todennäköi-

sesti virheellinen, tehdä se johtopäätös, että puussa on enimmän vettä joulukuussa ja tammikuussa, ja tämän mukaan ovat DUHAMEL DU MONCEAU ja NÖRDLINGER tehneet näistä numeroista sen johtopäätöksen, että näihin vesipitoisimpiin kuukausiin liittyvät sen jälkeen alenevassa sarjassa lokakuu, marraskuu, helmikuu ja maaliskuu, jonka jälkeen seuraavat huhtikuu, toukokuu, elokuu ja syyskuu sekä vihdoin kesäkuu ja heinäkuu, jolloin puussa on kaikkein vähimmän vettä.

DU MONCEAU ei ollut kuitenkaan tyytyväinen näihin tutkimuksiinsa sentähden, että hän oli antanut paloitella puut samankokoisiksi kappaleiksi, sillä tämä vei jonkun verran aikaa, jona vesi pääsi haihtumaan puusta. Tästä syystä hän uudisti kokeensa vuosina 1737 ja 1738, jolloin hän tutki nuoria tammia, joita hän kaasi 6 kpl. joulukuun 31 p:nä 1737, huhtik. 21 p:nä 1738 ja heinäk. 26 p:nä 1738. Kustakin tällaisesta puusta otti hän yhtä pitkän kappaleen tyvestä ja antoi punnita sen heti kaadon jälkeen. Sen jälkeen määräsi hän hydrostaatisesti tutkittujen puukappaleiden volyymit ja sai puun ominaispainoksi joulukuussa 1,132, huhtikuussa 1,016 ja heinäkuussa 1,017, joten tästäkin tutkimuksesta käy selville se tosiasia, että puu on raskainta joulukuussa. Nämät DUHAMEL DU MONCEAU'n tutkimukset jäivät kuitenkin pian unohduksiin, ja jo RUMFORD'illa ja HUNDESHAGEN'illa tavataan taas väite, että puu on keväällä vesipitoisin. Tämä on sitäkin kummallisempaa, kun esim. RUMFORD'in omista tutkimuksista selviää, että ainakin hänen tutkimallaan lehmuksella oli tammikuussa suurempi vesipitoisuusmäärä (0.4455) kuin syyskuussa, jolloin se oli (0.3655), ja mitään tutkimuksia puun vesipitoisuudesta keväällä ei RUMFORD edes ole tehnytkään. HUNDESHAGEN taas perustaa väitteensä BERNER'in tekemiin tutkimuksiin, jotka kuitenkin itse asiassa osottavat aivan päinvastaista, sillä koekappaleet olivat raskaammat joulukuussa (52.1) kuin toukokuussa (50.5).

Laajoja tutkimuksia on tällä alalla tehnyt TH. HARTIG, joka on tutkinut 30 tärkeimmän puulajin vesipitoisuuden useimpina kuukausina. HARTIG'in tutkimukset ovat tehnyt 16-vuotisissa samanlaiselle maalle istutetuissa puissa, joten hänen tutkimuksillaan senkin vuoksi on erikoinen arvonsa. Sen jälkeen on hän ottanut keskimäärän koville lehtipuille, pehmeille lehtipuille, havupuille ja kaikille puulajeille. Nämät keskimäärät näkyvät seur. sivulla olevasta taulukosta:

Näistä tutkimuksista on HARTIG tehnyt sen johtopäätöksen, että yleensä, niinkuin lopullinen keskimäärä osottaa, kaikilla puulajeilla keskimäärin on suurin vesipitoisuutensa tammikuussa ja helmikuussa (50.5 %). Maaliskuu ja huhtikuu, joina suuri osa HARTIG'in tutkimista puista vuo-

Puuryhmät	Tammik.	Helmik.	Maalisk.	Huhtik.	Toukok.	Kesäk.	Heinäk.	Syysk.	Marrask.
Kovat lehtipuut.....	0.41	0.38	0.36	0.36	0.39	0.35	0.39	0.38	0.34
Pehmeät lehtipuut...	0.53	0.53	0.51	0.49	0.47	0.47	0.50	0.47	0.45
Havupuut	0.60	0.58	0.59	0.54	0.60	0.61	0.60	0.58	0.58
Kaikki puut.....	0.51	0.50	0.49	0.46	0.49	0.48	0.50	0.48	0.46

taa mahlaa, osottavat noin 3 % pienempää vesipitoisuutta (47.5 %). Ne kuukaudet taas, jolloin lehdet puhkeavat ja kasvaimet pitenevät, touko- ja kesäkuu, osottavat hieman suurempaa vesipitoisuutta (48.5 %) ja vielä sitä suurempaa vesipitoisuutta osottaa heinäkuu, jona vuosilusto muodostuu (50 %) ja lopuksi taas hieman pienempää vesipitoisuutta osottaa syyskuu, jolloin vuosilusto jo on valmistunut (48 %).

Jos tarkastetaan niitä lukuja, jotka osottavat kovien- ja pehmeiden lehtipuiden nestepitoisuutta, niin huomataan, että niissä yleensä on vesipitoisuus suurin talvikuukausina. Havupuut sitävastoin sisältävät näiden tutkimuksien mukaan enimmän vettä sekä talvi- että myöskin kevät- ja kesäkuukausina.

Näiden Hartig'in numeroiden perusteella ei kuitenkaan vielä voida katsoa kysymystä ratkaistuksi. Päinvastoin on niissä monta hyvin kummallista kohtaa. Erittäin merkillinen on esim. marraskuun alhainen kosteusmäärä. Marraskuu on nim. näiden tutkimuksien mukaan juuri se kuukausi, jolloin puussa on vähimmän vettä. Tämä seikka on kuitenkin aivan selvästi ristiriidassa kaiken sen kanssa, mitä puusta tiedetään. Tiedetäänhän nim., että marraskuussa ei puulla ole mitään haihduttavia elimiä, ja maa on sitäpaitsi marraskuussa ehkä kosteimmillaan, joten näyttää merkilliseltä, että juuri tänä kuukautena kosteusmäärä olisi alhaisimmillaan.

Hyvin todennäköistä on, että ilmastosuhteet eivät ole Hartig'in koevuotena olleet normaalit, ja että Hartig'in luvut osottavat ainoastaan yhden vuoden kosteuden vaihteluja. Näihin Th. Hartig'in tutkimuksiin voidaan verrata R. Hartig'in tekemiä tutkimuksia (taulukko siv. 90), jotka osottavat vesigrammoja 100:ssa kuutiosenttimetrissä tuoretta puuvolyymiä.

Jos näitä numeroita verrataan edellä mainittuihin Duhamel du Monceau'n numeroihin ryhmittämällä du Monceau'n luvut vuodenajoittain, niin käy jokseenkin tarkoin selväksi, e t t ä p u u o n y l e e n s ä

Puulaji	Huhtikuu	Kesäkuu	Lokakuu	Joulukuu
Mänty.....	38.2	36.5	50.1	40.9
Kuusi.....	30.5	36.2	33.0	33.6
Lehtikuusi...	—	34.2	36.9	33.7

raskain joulukuun ja toukokuun välisenä aikana, keveimmillään kesä- ja heinäkuussa, jonka jälkeen sen paino taas alkaa kohota elokuussa, syyskuussa, lokakuussa ja marraskuussa.

Nämä seikat voidaan suuresti katsoen pitää jo todistettuina, sillä myöskin BÜSGEN'in tekemät tutkimukset antavat niille tukea. Uusimmat tutkimukset ovat kuitenkin osottaneet, että painon erot eri kuukausien ja vuodenaikojen välillä eivät ole suuret, mutta, että ainakin puu varmasti talvella sisältää enemmän vettä kuin muina vuodenaikoina. Tämä asia riippuu siitä kasvifysiologiassa todetusta seikasta, että puiden juuret voivat imeä vettä vielä sen jälkeen kuin kasvin maanpäällinen osa on lopettanut elintoimintansa, ja voivatpa kasvin juuret työskennellä vielä sellaisessakin maassa, joka on jäätynyt.

KOSAROFF on todistanut, että 0° C lämpömäärässä puut voivat ottaa maasta suuret määrät vettä ja että vielä silloin kuin lämpömäärä on — 5° C ja maassa vielä on jäätä, juuret edelleenkin voivat toimia. BÜSGEN mainitsee, että hän oli löytänyt nuorten strobusmäntyjen neulasten kärjistä vedenpisaroita vielä silloin kuin maa ei ollut sulanut 20 sm syvemmälle. Juuret olivat siis työskennelleet sellaisessa ympäristössä, jonka lämpötila oli sangen vähän yli 0° C. R. HARTIG taas huomasi koivun keskimääräisessä vesipitoisuudessa huomattavan nousun helmikuun puolivälistä maaliskuun puoliväliin ja pyökillä ja männyllä marraskuussa ja joulukuussa. Näidenkin puiden on siis täytynyt voida imeä itseensä vettä silloin kuin maa on ollut jäässä.

f. Puun vesipitoisuus riippuu myös sangen suuressa määrin siitä, minä vuorokauden aikana se mitataan ja ilman relatiivisesta kosteudesta. Tässä suhteessa ovat TH. HARTIG ja myöhemmin CIESLAR tehneet tutkimuksia. Kasvavan puun vesipitoisuudelle on haihtuminen suurimerkityksellinen. Puusta haihtuu joka silmänräpäys vettä ympäröivään ilmaan ja tämä haihtuminen on sitä

kiihkeämpi, mitä korkeampi ympäröivän ilman lämpötila on ja mitä enemmän vettä ympäröivä ilma sisältää. Ne vesimäärät, jotka haihtuvat puusta, ovat sitä suuremmat, mitä suurempi ja lehdekkäämpi puun latvus on. Esimerkkinä mainittakoon, että esim. suurehkosta koivusta haihtuu yhtenä ainoana päivänä 300 l. vettä.

Toiselta puolelta korvautuu kadotettu määrä niillä vesimäärillä, jotka juuret imevät maasta. Tällä tavalla syntyy puussa veden virtaaminen, jota kutsutaan haihtumisvirtaukseksi (Transpirationsstrom). Jos kuumuus on suuri ja ilma on kuiva, niin eivät juuret jaksakaan imeä puuhun niin suurta vesimäärää kuin siitä on haihtunut ja tästä on seurauksena, että vesimäärä puussa alenee. Samoin tapahtuu myöskin, kun maan lämpö äkkiä alenee ja juurien toiminta heikontuu, sillä myöskin silloin vähenee puussa oleva vesimäärä ja lehdet kuihtuvat.

Cieslar'in tutkimukset sekä kairanlastuissa että lohkotuissa puupalasissa osottavat, että 100 volyymiosassa tuoretta puuta oli seuraavat määrät vettä:

aamulla kesäkuussa	puupalasissa	65.0 %	kairanlastuissa	47.8 %
keskipäivällä	»	57.3 »	»	45.6 »
illalla	»	59.6 »	»	44.3 »

Nämä luvut osottavat, että puissa yleensä on vesipitoisuus suurimmillaan aamulla ja että se tämän jälkeen todennäköisesti keskipäivällä saavuttaa pienimmän määränsä kohotaksensa taas iltaa kohti. Edelleen selviää näistä luvuista, että puun vesipitoisuuden vuorokautiset vaihtelut ovat sangen tuntuvat, voidaanpa sanoa yhtä suuret kuin sen vuodenaikaiset vaihtelut, nousten ne aina 8 % asti. Että puissa illalla on enemmän vettä riippuu siitä, että illalla ja yöllä ilman kosteus on suurempi ja että yöllä ilmaraot ovat suljetut. Ilmarakojen ei tarvitse yöllä olla auki sentähden, että yöllä ei tapahdu hiilihappoassimilatiota.

g. Ilmastollisilla tekijöillä on, niikuin jo edellisestä on selvinnyt, huomattava merkitys kasvavan puun vesipitoisuuteen. Selvää on, että äärimmäisyystapaukset, kuten rankkasateet ja äärimmäinen kuivuus, saavat aikaan huomattavia muutoksia puun vesipitoisuudessa, ja tästä syystä mainitseekin Mayr, että pintapuun vesipitoisuus vaihtelee ilman vesipitoisuuden kanssa ja että sadeaikoina puissa on huomattavasti enemmän vettä kuin kuivina aikoina ja että itse asiassa jokaisena kuukautena puulla on oma vesipitoisuusmaksiminsa ja miniminsä.

Voidaankin väittää, että tällaisten meteoroloogisten äärimmäisyys-

tapauksien aiheuttamat vesimäärän vaihtelut puussa ovat aivan yhtä suuret kuin eri vuodenaikojen ja vuorokaudenaikojen aiheuttamat.

Myös tuulella on merkityksensä tässä suhteessa, niin että heti tuulisen sään jälkeen puun vesipitoisuus, varsinkin pintapuun, on huomattavasti pienempi kuin tyynellä säällä.

Jos nyt kuitenkin tällaiset äärimmäisyystapaukset jätetään huomioon ottamatta, ja tutkitaan puun vesipitoisuutta ainoastaan kuukauden niinä päivinä, jolloin tällaisia meteoroloogisia äärimmäisyystapauksia ei ole olemassa, niin huomataan, että puun vesipitoisuus vaihtelee ilman relatiivisen kosteuden mukaan siten, että yleensä puuhun imeytyy vettä sitä enemmän mitä suurempi relatiivinen kosteus on. Meidän maassamme on relatiivinen kosteus yleisin piirtein suurimmillaan joulukuussa (n. 93 %), sen jälkeen vähenee se tammikuussa noin 90 %:iksi, maaliskuussa on se 80 %, toukokuussa se saavuttaa alhaisimman määränsä, 65 % ja nousee sen jälkeen hitaasti niin, että se kesäkuussa on 67 %, heinäkuussa 70 %, syyskuussa 82 % ja marraskuussa 90 %. Nämä kosteuden vaihtelut vaikuttavat kasvavan puun vesipitoisuuteen sikäli, että se on sitä pienempi mitä pienempi ilman relatiivinen kosteus.

Ilman kosteuden vaihtelujen aikaansaamat muutokset puun vesipitoisuudessa tuntuvat etupäässä lehvistössä, oksien hennoissa osissa ja pintapuussa ja ulottuvat sisempiin puuosiin vasta silloin kuin vesimäärä jatkuvasti alenee ja vesi sisäosista siirtyy pintaan päin. Joka tapauksessa voidaan väittää, että se, mitä edellä on esitetty puiden vesipitoisuudesta eri vuodenaikoina, saa hyvin suureksi osaksi myös selityksensä juuri ilman relatiivisen kosteuden kuukautisista vaihteluista. Ne tutkimukset, mitä puiden vesipitoisuudesta eri vuodenaikoina on tehty, ovat puutteellisia siinä suhteessa, ett'ei niissä ole otettu tätä seikkaa huomioon. Joka tapauksessa voidaan tämän seikan perusteella erittäin hyvin selittää DUHAMEL DU MONCEAU'n tutkimukset puiden vesipitoisuuden vaihteluista, sillä ne seuraavat jokseenkin täsmällisesti juuri näitä ilman relatiivisen kosteuden vaihteluita. Ne alustavat tutkimukset, joita allekirjoittanut on tehnyt männyn kairalastuille Kolarissa, pitävät myöskin jokseenkin hyvin yhtä ilman relatiivistä kosteutta osottavan käyrän kanssa.

h. Maan vesipitoisuudella on luonnollisesti myös merkitys puun vesipitoisuuteen. Puun juuret imevät yleensä sitä enemmän maasta vettä mitä enemmän sitä maassa on saatavilla. Jos maaperä on helposti vettä läpäisevä, niin siitä vähenee vesi kuivina vuorokauden

tai vuodenaikoina sangen nopeasti ja nämä vesimäärän vähennykset tulevat heti näkyviin puussa olevan vesimäärän vähenemisenä. Jos puun juuret ovat lähellä maanpintaa, niinkuin esim. on kallioilla kasvavien puiden laita tai jos puulla on harojuuri, niinkuin esim. kuusella, on puun vesipitoisuus sangen suuressa määrässä riippuvainen maan pintakerroksien vesipitoisuudesta, ja sen vaihtelut seuraavat hyvin tarkkaan maan pintakerroksen vesimäärien vaihtelua. Jos taas puun juuret tunkeutuvat syvempiin maakerroksiin, niin ei vesipitoisuus näin helposti pääse vaihtumaan, sillä syvempien kerroksien vesipitoisuus pysyy paljon konstantimpana kuin pintakerroksien. Tästä voidaan myös tehdä se johtopäätös, että maan laatu aiheuttaa vähemmän vesimäärän vaihteluja puussa silloin kuin se on sellainen, että se sallii puun juurien esteettömästi tunkeutua alaspäin, ja kun maa voi säilyttää pohjaveden mahdollisimman muuttumattomalla korkeudella, mutta toiselta puolen taas ovat puun maanlaadusta riippuvat vesipitoisuuden vaihtelut suurimmat siellä, missä puun juuret pääsevät tunkeutumaan ainoastaan pintakerroksiin. Tästä syystä vaihtelee vesipitoisuus suuresti esim. sellaisilla mailla, joissa on ortsteinia (Nördlinger). Tämän saman huomion on tekijä ollut tilaisuudessa tekemään Siikakankaalla, jossa jo neulasten väri on sangen herkästi riippuvainen kuivista ja kosteista säistä. Sen johdosta taas, että maaperän vesipitoisuus on suuresti riippuvainen ilman vesipitoisuudesta, sateista, kuivuudesta, tuulista j.n.e., on tätä seikkaa ollut vaikea tutkia, sillä vaikea on ollut tässä suhteessa eliminoida ilmastollisia tekijöitä.

Hyvin paljon vaikuttaa puun vesipitoisuuteen myöskin se, kuinka varjostettu maanpinta on. Runsas pintakasvullisuus ja maata varjostavat latvukset pitävät maan vesipitoisuuden tasaisena, ja tästä syystä esim. pintakasvullisuuden poistaminen tai metsikon harventaminen lisää kasvavien puiden vesipitoisuutta. Kasvavien puiden vesipitoisuutta lisää metsikön harventaminen myös senvuoksi, että puut harventamisen jälkeen voivat lisätä juuristoaan ja imeä vettä laajemmalta alalta maasta. (Nördlinger, Th. Hartig ja R. Hartig.)

i. Haihtumisvirtaukset puussa selittävät parhaiten puun eri osien vesipitoisuuden ja sen ilmiön puussa, jota tämän jälkeen tullaan tutkimaan, nim. puun kuivumisen.

Kaikissa kasveissa tapahtuu veden haihtumista. Puusta haihtuva vesi on saanut kulkea sangen pitkän tien ennenkuin se neulasten tai lehtien huokosista haihtuu. Australian Eucalyptus'ella ja Kalifornian Mammutpetäjällä on se saanut kulkea yli sata metriä ennenkuin se on

ennättänyt maasta latvaan. Vesi on se kulkuneuvo, joka kuljettaa suurimman osan puun ravintoaineita ja jakaa ne puun eri osiin, ja kun se on tämän työnsä tehnyt, on siitä suuri osa tullut tarpeettomaksi ja haihtuu puusta pois. On kestänyt sangen pitkän aikaa ennenkuin on löydetty ne tiet, joita vesi puussa kulkee. Nämä veden kulkutiet ovat putkilojänteet l. oikeimmin sanoen putkilojänteiden puuosa, ja että asia on näin, sitä osottaa m.m. sekin seikka, että esim. Lago di Gardan öljypuumetsissä tavataan eläviä öljypuita, joiden sydänpuu on kokonaan lahonnut ja joiden rungon alaosa on kokonaan kuoreton. Tästä metsikosta kertoo KERNER: »vaikka puun alaosa on niin reikäinen, että yläosa usein on ikäänkuin kahden puujalan varassa, niin ovat kuitenkin nämät öljypuut elinvoimaisia ja saavat joka vuosi lehtiä, kukkivat ja kantavat hedelmää ja ottavat siis ravintoa maasta.»

Trakeiidit ovat eri puilla eri pitkiä, mutta niitä voidaan joka tapauksessa pitää ikäänkuin rinnakkain asetettuina pieninä putkina, joiden pituus on ainakin useita kymmeniä kertoja niiden läpimitta ja putkilot ovat vielä useamman kerran läpimittansa pituisia. Aluksi luultiin, että sekä trakeiidit että putkilot olisivat kasvien hengityselimiä, ja tästä syystä onkin nimi, trakeiidi, johdettu sanasta trachea, joka on sama kuin hyönteisten hengityselimet. Vasta sangen lähellä nykyaikaa huomattiin, että trakeiidien ontelot ovat juuri ne kulkutiet, joita myöten puun nesteet kulkevat (KERNER y.m.).

Tämä kulkutie on lehtipuissa, joissa putkilot ovat pitkiä, vapaampi kuin havupuissa, joiden trakeiidit ovat putkiloihin verraten lyhyitä. Puusoluissa virtaavan veden täytyy kuitenkin usein kulkea solusta soluun huokosten kautta, ja solujen seinissä on huokosia, joiden kautta tämä voi tapahtua. Nämä huokoset muistuttavat jo ulkonäöltäänkin läpällä varustettuja venttiilejä, jotka tarpeen vaatiessa voivat estää veden takaisin vaipumista. Se, mitä on esitetty puiden sisärakennuksesta, osottaa, että sekä trakeiidit että putkilot että libriformsolut ovat varustetut huokosilla, jotka vastaavat ydinsädeparenkhymin tai ydinsädeprosenkhymin huokosiin ja että täten puusta johtuu haihtumistie myös ytimestä pintaan päin. Puusta johtuu siis lukemattomia haihtumistiehyeitä sekä vaakasuorassa että pystysuorassa suunnassa alhaalta ylös ja ytimestä pintaan. Suurin osa nestevirtauksesta tapahtuu kuitenkin alhaalta ylöspäin ja tämä nestevirtaustie johtaa lopulta lehtien ja neulasten pinnalla oleviin ilmarakoihin, joiden kautta vesi puusta haihtuu. Kun ilmaraon kautta puusta on vettä hävinnyt, niin korvataan ilmarakoon haihtunut vesi lähinnä allaolevan solun vedellä j.n.e. aina lähim-

pänä olevan solun vedellä, kunnes tullaan solukkoihin, joihin vesi tulee juuren toiminnan kautta. Tämä veden virtaus tapahtuu puun nuoremmassa osassa, mannossa, jotavastoin vettä ei kulje sydänpuussa. Jos esim. puun oksa katkaistaan, eikä oksaa panna heti veteen, niin on tästä seurauksena, että veden sijalle taitetun pinnan lähellä oleviin osiin imeytyy ilmaa. Tämän huomaa esim. siitä, että tällä tavalla katkaistu ja jonkun aikaa ilmassa ollut oksa ei enään vesiastiaan asetettuna ime itseensä vettä, vaan sen lehdet kuivuvat pian. Jos taas oksa heti katkaistua pannaan veteen, niin pysyvät lehdet kauan tuoreina, sillä katkaistun pinnan läheisiin osiin ei ennätä tunkeutua ilmaa, ja näin ollen nestevirtaus puussa pääsee jatkumaan. Tämä seikka osottaa, että, kun puu on katkaistu, niin lehdistön toiminta ei silti lopu, vaan jatkuu suunnilleen niin kauan kuin puussa on lehvistön elämälle tarpeellinen määrä vettä ja ravintoaineita.

Yksinomaan hahtuminen ei kuitenkaan selitä veden liikettä puussa. Se, että juuret tai oikeastaan elävät juurikarvat ottavat vettä maasta ja että tämä vesi johtuu juurikuoren soluihin ja lopulta läpäisysolujen kautta johtojänteiden puuosaan, ei riipu yksinomaan haihtumisesta ja haihtumisvirtauksesta, vaan n.k. juuripaineesta, jonka ilmiön huomaa helposti esim. kun mahla-aikana sahaa poikki jonkun suurehkon lehtipuun, esim. koivun tai vaahteran. Tällöin pusertuu vesi sangen voimakkaasti ulos puusta, ja jos puuhun esim. tiiviisti kiinnitetään lasiputki, joka on täytetty vedellä ja yhdistetty toiseen pienempään, esim. elohopealla täytettyyn lasiputkeen, niin huomataan, että juuripaine kohottaa elohopeaa, ja mitä enemmän se sitä kohottaa, sitä suurempi paine on.

Senvuoksi, että se ilmiö, jota edellä nimitettiin juuren paineeksi, on olemassa, ei kasvavan puun vesipitoisuus seuraa samoja lakeja kuin haihtuminen, vaan ovat kasvavan puun vesipitoisuuden lait, niinkuin edellä olevasta on selvinnyt, sangen monimutkaiset ja osaksi vielä selvittämättömät.

2. Puun kuivumisilmiö.

Edellä on selitetty, mitä teitä vesi haihtuu kasvavasta puusta. Haihtuminen tapahtuu sekä lehdistön että kuoren kautta. Jos puu kaadetaan, voidaan erottaa seuraavat kuivumisilmiöt:

a. Kaadetun, karsimattoman ja katkomattoman puun kuivuminen.

b. Kaadetun, karsitun, mutta kuorimattoman puun kuivuminen.

c. Kaadetun, karsitun, katkotun ja osaksi tai kokonaan kuoritun puun kuivuminen ja

d. Kaadetun, karsitun, katkotun, kuoritun tai halkaistun puun kuivuminen.

a. Kaadetun, karsimattoman ja katkomattoman puun kuivumisilmiö tulee kysymykseen puuta rasiksi kaadettaessa. Tätä kaatotapaa on hyvin kauan käytetty ennenaikaan Ruotsissa kaskeamista hiilenpolton yhteydessä harjoitettaessa. Kun puu oli tullut täyteen lehteen, hakattiin metsä paljaaksi, ja tämän jälkeen saivat puut kuivua siksi, kunnes lehdet ja neulaset ja hienommat oksat olivat siihen määrään kuivuneet, että ne helposti voitiin sytyttää tuleen. Kun sitten kaski poltettiin, paloi maanpeite, neulaset ja hienot oksat, jotavastoin rungot ja suurimmat oksat jäivät palamatta. Tämän jälkeen korjasi kaskenpolttaja hiilipuuksi kaiken kelvollisen puun ja sai tällä tavalla metsästään kahdenlaisen tulon, tulon kaskesta, jonka hän kylvi, tulon hiilistä, jotka hän möi rautaruukille. Tätä tapaa harjotti hän mielellään senvuoksi, että hän täten huomasi saavansa parhaiten kuivaa ja keveätä hiilipuuta.

Rasiksi kaatoa on myös harjoitettu useissa paikoin Etelä-Ruotsissa, joissa on ollut tapana kaataa kuusia niiden kuoren tähden. Kuusen kuori käytettiin nim. parkitusaineeksi. Puut kaadettiin jo alkukesästä, jolloin kuori helpoimmin irtaantui. Kuorittujen puiden rungot käytettiin hiilipuiksi ja olivatkin ne siihen tarkoitukseen sopivia, sillä ne kuivuivat hyvin ja olivat mukavia liikutella.

Myös meidän omassa maassamme tuli rasiksi kaato käytäntöön sen jälkeen kuin meidän maahamme oli perustettu ensimmäiset faneeritehtaat.

Rasiksi kaadon etu on siinä, että haihdunta lehvistön kautta jatkuu vielä senkin jälkeen kuin puu on kaadettu. Tämän kautta vähenee vesi ensin puun tyviosista, ja sen jälkeen siirtyy vesipinta yhä edemmäksi latvaan päin, ja tapahtuu tämä tietysti nopeammin niin kauan kuin lehvistö vielä on elossa. Mutta senkin jälkeen kuin lehvistö on kuollut, on puulla käytettävänään paljon suurempi haihtumispinta kuin karsimattomana, ja tästä syystä tapahtuu myöskin haihtuminen sangen nopeasti. Haihtuminen tapahtuu kuitenkin melkein yksinomaan rungon pintapuuosasta, eikä puu saavuta edes täydellisesti metsäkuivan puun kuivuusastetta.

Puuta rasiksi kaadettaessa on otettava huomioon seuraavat seikat.

Paras kaatoaika on (Thomé, Pietarinen) se aika, jolloin lehti alkaa päästä täyteen kasvuunsa, mutta voidaan puu myös kaataa rasiksi koko kesäkuun aikana. Jos taas on kysymys havupuiden rasiksi kaadosta, on tekijä tehnyt seuraavat huomiot: puut kuivuvat parhaiten kesäkuussa kaadettuina, mutta niiden kaadossa on otettava huomioon eräs toinenkin seikka, nim. että puuta kaadettaessa eivät kaarnakuoriaiset saa olla kehittyneet sille asteelle, että ne olisivat alkaneet kaivaa käytäviään puun ja kuoren väliin. Yleensä on meidän oloissamme männyn kaato alettava jo elokuun alkupäivinä, jotavastoin kuusen kaatoa ei voida alkaa ennenkuin elokuun puolivälissä.

Edelleen on tärkeätä, ettei puuta rasiksi kaadettaessa rikota kuorta. Sellaisissa paikoissa, nim., missä kuori rikotaan, alkaa haihdunta ja puuhun ilmestyy ilmaa sisältäviä trakeiidiryhmiä, jolloin näiden kohdalla puun pituusakselin suuntainen haihtumisvirtaus keskeytyy.

Puiden on annettava kuivaa tarpeeksi pitkän ajan. Thomé'n ja Pietarisen mukaan menettävät puut jo 3—4 viikossa $^1/_4$—$^1/_3$ painostaan. Ekman'in mukaan taas täytyy kuivumisen saada kestää vähintäin 6 viikkoa.

Vasta sen jälkeen kuin puu on tarpeellisen ajan saanut lehvistönsä kautta kuivaa, voidaan se karsia ja kuoria.

Paitsi edellä mainituista seikoista, riippuu puun kuivumisnopeus rasiksi kaadettaessa luonnollisesti siitä, minkälainen latvus puulla on. Sellaiset puut, joilla on hyvin kehittynyt latvus ja runsas lehvistö, siis esim. valtapuut, harvassa kasvaneet puut ja hakkuualoille jääneet siemenpuut, kuivuvat nopeammin kuin vallitut ja tiheässä metsikössä kasvaneet puut. Yleensä ei rasiksi kaadosta olekaan sanottavaa hyötyä apuharvennuksen kautta poistetuille, vallituille puille.

b. Kaadetun, karsitun, kuorimattoman puun kuivuminen tapahtuu pääasiallisesti rungon ja oksien poikkileikkauspintojen kautta, jotavastoin kuori sangen hitaasti läpäisee vettä. Tästä on seurauksena, että kuorimaton puu kuivuu sitä nopeammin mitä lyhempiin kappaleisiin se on katkottu ja että puun latvuksen sisäpuolella olevat osat, joissa on enemmän tai vähemmän oksahaavoja kuoressa, kuivuvat nopeammin kuin oksaton rungonosa.

On myös selvää, että sellaiset puulajit, joiden latvus yleensä ulottuu alas, esim. tavallinen kuusi, ja sellaiset puut, joilla on vankkaoksainen latvus, kuivuvat pikemmin kuorittuina kuin jouhipuut, joilla on pieni latvus ja pienet oksat.

Ensimmäinen, joka tutki veden haihtumista kuorimattomasta puusta,

oli DUHAMEL DU MONCEAU. Tutkimustaan varten hän antoi 15 p:nä helmikuuta 1737 kaataa nuoria tammia, joista hän leikkasi yhden jalan pituisia ja 14—15 tuuman läpimittaisia koekappaleita, ja jätettiin näistä m.m. koekappaleita kuorimattomiksi, ja sijoitettiin otetut koekappaleet vajaan kuivamaan. Tämän jälkeen punnittiin koekappaleet jokaisena kuukautena useana kuukauden päivänä. Tällöin osottautui, että puiden kuivuminen tapahtui jokseenkin hitaasti niin, että esim. helmikuun aikana koekappaleiden paino keskimäärin väheni ainoastaan 0.75 parisilaista naulaa ja väheneminen tapahtui ainoastaan kaatopäivän jälkeisenä päivänä, jonka jälkeen puu säilytti saman painonsa aina maaliskuun 2 p:ään asti. Vasta maaliskuussa aletaan tämän jälkeen huomata hyvin hidasta kevenemistä pysyen puun paino aina useina päivinä aivan samana ja ollen koko painon väheneminen maaliskuun aikana 4.25 pariisin naulaa. Huhtikuussa oli väheneminen 6.25, toukokuussa 3.0, kesäkuussa 1.75, heinäkuussa 3.75, elokuussa 3.5, syyskuussa 1.0, lokakuussa 1.75 ja joulukuussa 0.75. Yleensä osottautui, että puut tällä tavalla vajassa kuivaessaan saavuttaa painonvähenemismaksiminsa huhtikuun ja maaliskuun tienoissa.

Sen johdosta, että DUHAMEL DU MONCEAU suoritti kokeensa vajassa, ei niistä selviä, kuinka puun kuivuminen metsässä tapahtuu. Niistä selviää kuitenkin jo se tosiasia, ettei puu voi vuoden ensimmäisenä neljänneksenä kuivua sanottavasti ensinkään, sitävastoin niistä ei selviä, milloin puu kuivuu nopeimmin, sillä katokseen ei esim. auringon lämpö eivätkä tuulet ja sateet pääse täydellä teholla vaikuttamaan.

DUHAMEL DU MONCEAU'n tutkimukset saivat pitkäksi aikaa jäädä ainoiksi alallaan, sillä NÖRDLINGER'kään ei ole tutkinut muuta kuin sellaisen puun haihduntaa, jonka päät olivat haihdunnan estämiseksi suljetut, joten haihtuminen voi tapahtua ainoastaan kuoren kautta. Sitäpaitsi suoritti NÖRDLINGER kokeensa tavallisessa lämmitettävässä huoneessa. Tämä koe on kuitenkin siinä suhteessa huomattava, että se osottaa, kuinka hitaasti haihtuminen kuoren kautta tapahtuu. Kesti nim. lähes 11 vuotta, ennenkuin hänen käyttämänsä koekappale saavutti sellaisen painon, ettei se enään huoneessa alentunut.

Tällä alalla tehdyistä tutkimuksista on suurin käytännöllinen merkitys niillä tutkimuksilla, jotka EKMAN on tehnyt. Hän on tutkinut ilmassa kuivunutta puuta. EKMAN'in huomiot kuusen kuivumisesta kuorellisena olivat pääasiassa seuraavat:

Jos puu kaadetaan tammikuussa, ei se vuoden ensimmäisellä neljänneksellä kuiva sanottavasti ensinkään. Toukokuussa vähenee sen paino

noin 2.5 %:illa ja kesäkuussa jonkun verran enemmän niin, että se kesäkuun loppuun mennessä on alentunut noin 6 %:illa. Tämän jälkeen alkaa nopeampi kuivaminen niin, että puun paino on heinäkuun lopussa alentunut noin 12 %:illa, jonka jälkeen kuivuminen hidastuu niin, että painon vähennys elokuun lopulla on noin 15 % ja syyskuun puolivälissä korkeimmillaan l. noin 16 %. Tämän enempää ei pyöreän, kuorimattoman puun paino vähene, vaan alkaa se päinvastoin seuraavina kuukausina hitaasti kasvaa niin, että painon vähennys lokakuussa taas on noin 15 %, marraskuussa noin 14 $^1/_2$ %, joulukuussa noin 12 % ja tammikuussa noin 10 %. Tästä selviää, että tuore puu on korjattava pois metsästä heti ensi kelillä, sillä muuten se uudestaan tulee kosteammaksi.

Jos kuorimaton puu saa kuivaa metsässä toisen vuoden, niin alkaa siitä kuori irtaantua, ja sen kuivuminen tulee noudattamaan osaksi kuoritun puun kuivumislakeja, niin että se jo lokakuussa on samanpainoista kuin kuorittu tai osaksi kuorittu puu.

Jos puu kaadetaan huhtikuussa, toukokuussa tai kesäkuussa, niin se ennättää saavuttaa saman kuivuusasteen kuin vuoden ensimmäisenä neljänneksenä kaadettu puu. Puu, joka on kaadettu heinäkuun ensimmäisen päivän jälkeen, ei enään saavuta sitä kuivuusastetta, kuin sitä aikaisemmin kaadettu puu, vaan saavuttaa korkeintaan noin 10 %:n painonvähennyksen, ja alkaa sen paino kohota samoihin aikoihin kuin ennen heinäkuun ensimmäistä päivää kaadetun puun, mutta pysyy se koko ajan sitä raskaampana, ollen painoero alussa noin 6 %; ja kun tammikuuhun on saavuttu, noin 2.5 %. Elokuun ensimmäisen päivän jälkeen kaadettu puu kuivaa sangen vähän. Sen paino alenee korkeintaan 5 %:illa, ja on se tammikuun alussa alentunut ainoastaan noin parilla %:illa. Syyskuun ensimmäisen päivän jälkeen kaadettu puu ei käytännöllisesti katsoen kuiva ensinkään.

Yllä olevasta säännöstä on kuitenkin huomattavia poikkeuksia. Niinpä kuivuvat kaikki hyvin karkeaoksaiset pölkyt paljon nopeammin niin, että niiden paino parhaassa tapauksessa voi toukokuun alkupäiviin mennessä laskeutua yli 10 %. Näin ollen siis voivat tällaiset latvatukit sangen huomattavassa määrin kuivua, jos ne ovat rantatörmillä hyville teloille telattuina, ennenkuin ne vieritetään jokeen uittoa varten.

Lehtipuiden, etenkin koivun, kuivumisella kuorimattomana on myös omat lakinsa. Tekijän tutkimukset osottavat siitä seuraavaa. Koivupuu kuivaa yleensä ensimmäisenä vuonna paljon hitaammin kuin havupuut, sen paino ei useinkaan vähene enempää kuin 10 % ja kuivumis-

ilmiö on huomattavissa paljon suuremmassa määrin likellä päätepintoja kuin puun sisäosissa, jotka eivät kuiva sanottavasti ensinkään. Jos koivupuu joutuu kuorimattomana kuivamaan metsässä vielä toisen vuoden, niin ei sen kuivumis-% sanottavasti muutu ensinkään ja kolmantena vuotena kuorimaton koivupuu viimeistään, ellei se sitä ole aikaisemmin tehnyt, alkaa lahota, eikä siis suinkaan suuremmassa määrin kuiva.

Männyn kuivuminen on suunnilleen sama kuin kuusen, ainoastaan sillä erotuksella, että mänty paksumman kuorensa ja oksattomuutensa vuoksi kuivaa jonkun verran hitaammin kuin kuusi.

Koivun kuivuminen on paitsi edellämainituista seikoista, sangen suuressa määrin myöskin riippuvainen siitä, kuinka suuret puut ovat kysymyksessä. Suuret koivutukit kuivuvat paljon paremmin kuin pienempimittainen koivupuu ja saavuttavat suunnilleen saman kuivuusasteen kuin kuusi ja mäntykin.

c. Kaadetun, karsitun, katkotun ja osaksi tai kokonaan kuoritun puun kuivuminen on se ilmiö, joka tavallisimmin puita ulkoilmassa kuivattaessa tulee kysymykseen. Tässä suhteessa on ensimmäiset tutkimukset tehnyt DUHAMEL DU MONCEAU. Hän käytti tutkimuksissaan sellaisia pätkiä kuin edellä kuorimattoman puun kuivattamisesta puhuessa on mainittu. Hänen tutkimuksensa helmikuussa kaadetulle puulle osottivat, että puu alussa kuivaa sangen hitaasti ja saavuttaa suurimman kuivumisnopeutensa maaliskuussa, joka myöskin on se kuukausi, jona puun paino kaikkein enimmän vähenee. Maaliskuun aikana vähenee puun paino noin 6.4 % sen kokonaispainosta. Tämän jälkeen on painonvähennys vielä sangen tuntuva huhtikuussa, jolloin se on suunnilleen 5.4 % puun alkuperäisestä painosta. Sitten alkaa painonvähennys hidastua niin, että se lopulta käy aivan mitättömäksi, ollen tammikuussa aivan mitätön murto-osa %:ia. Nämä DUHAMEL DU MONCEAU'n tutkimukset ovat tehdyt vajassa, joten niissä ei ole otettu huomioon niitä muutoksia, joita sade ja auringonpaiste aikaansaavat. Sitävastoin liittyy DUHAMEL DU MONCEAU'n tutkimuksiin meteoroloogiset tiedot, jotka kuitenkaan eivät ole tehdyt täydellä tarkkuudella, s.o. samalle koekappaleelle samoina päiväntunteina. Tämä ei olekaan ollut mahdollista, sillä siihen aikaan ei ollut käytettävissä itsensä reistreeraavia koneita. Kuitenkin selviää hänen tutkimuksistaan, että ilmankosteuden vaihtelut sangen paljon vaikuttavat pintapuun kosteuteen, mutta että tällaiset äkillisten ilmankosteuden vaihteluiden aikaansaamat muutokset puun vesipitoisuudessa hyvin pian tasaantuvat.

Myös on DUHAMEL DU MONCEAU tehnyt tutkimuksia siitä, mitä haih-

tumispinnan suuruus vaikuttaa haihtumiseen. Hän antoi v. 1740 marraskuussa valmistaa nuoresta tammesta pienen parrun, jonka hän jakoi 4:ään yhtä suureen kuutioon, jotka hän merkitsi numeroilla 1, 2, 3 ja 4. Näistä jaettiin kuutio 1 puun pituussuuntaan ja kuution särmän suuntaan kulkevilla yhdensuuntaisilla leikkauksilla 4:ään yhtä suureen osaan, 2 samoin 3:een ja 3 samoin 2:een yhtä suureen osaan. Näiden kappaleiden haihtumispinnat tulivat täten suhtautumaan toisiinsa niinkuin 48 : 40 : 32 : 24. Painon väheneminen, joka mitattiin päivittäin 4 viikon aikana, osotti, että suurimmat manttelipinnat merkitsivät suurempaa haihduntaa. Mutta kokeesta ei käy selville, että haihdunta olisi ollut suhteellinen manttelipinnan pinta-alaan niinkuin Duhamel oli otaksunut. Päinvastoin osottautui, että suuremmat kappaleet kuivuivat enemmän kuin niiden olisi pitänyt. Tämä seikka onkin helposti ymmärrettävissä, sillä niissä oli enemmän päätepinta-alaa kuin pienemmissä kappaleissa. Tällä tavalla tuli todistetuksi, että puu haihduttaa vettä enemmän päätepinnastaan, niinkuin jo edellä on mainittu.

Saadakseen selville puun haihtumissuunnan on Duhamel du Monceau tehnyt muitakin kokeita. M.m. on hän saanut tutkimuksien kautta selville, että hänen koepalasensa haihduttivat poikkileikkauspinnan neliödesimetriä kohti 8 päivän kuluessa noin 26 gr ja manttelipinnan neliödesimetriä kohti kuoritussa puussa 15.77 gr. Tästä siis selviää, että haihtuminen poikkipinnasta suhtautuu haihtumiseen manttelipinnasta suunnilleen niinkuin 26 : 15.8.

Näitä samoja seikkoja on myös Nördlinger tutkinut ja tullut huomaamaan, että ero näiden eri pintojen haihduttamisen välillä ei edes ole niin suuri kuin Duhamel du Monceau on tutkimuksiensa perusteella otaksunut, ja on myös hänen tutkimuksiensa mukaan haihtuminen suurin poikkileikkauspinnan suunnassa. Sen jälkeen on se suurin manttelipinnan suunnassa ja pienin säteensuuntaisessa pinnassa.

Jos ajatellaan puun anatoomista rakennetta, niin on ilman muuta selvää, että haihdunnan täytyy olla suurin poikkileikkauspinnasta. Tämä riippuu jo siitä yksinkertaisesta syystä, että puu on siten rakennettu, että vesi siinä pääsee nopeimmin kulkemaan pituusakselin suuntaan. Jos taas ajatellaan kuorittua puun manttelipintaa, niin on veden kuljetus myöskin tässä suunnassa luonnollinen, koskapa ydinsäteet m.m. juuri ovat olemassa puussa sitä varten, että ne välittäisivät nesteitten kulkua puussa radiaaliseen suuntaan. Mutta tässä suunnassa tulevat ydinsäteet katkaistuksi kohtisuorasti pituussuuntaansa vastaan ja senvuoksi niiden haihtumispinta tulee pienemmäksi kuin säteensuuntaisessa leikkauksessa,

jossa ydinsäde halkaistaan. Senvuoksi että trakeiidit puuta kuorittaessa voivat jäädä paljon suuremmassa määrässä halkaisematta kuin puun säteensuuntaisessa leikkauksessa, tulee ehdottomasti säteensuuntaan halkaistun puun haihtumispinta paljon suuremmaksi kuin tangentin suuntaan halkaistun puun haihtumispinta, jossa esiintyy paljon enemmän ehyitä soluseiniä. Tästä syystä onkin todennäköistä, että NÖRDLINGER on erehtynyt edellä mainitsemissamme johtopäätöksissä, ja että haihtuminen on suurempi säteen- kuin tangentinsuunnassa. Tämän seikan on myöskin DUHAMEL DU MONCEAU tavallaan todistanut verratessaan kuoritun ympyriäisen ja neliskulmaiseksi veistetyn puun kuivumista toisiinsa. Ympyriäiset puut menettivät 8 päivän kuluessa painostaan keskimäärin 2.3 %, jotavastoin neliskulmaisiksi veistetyt puut, joiden leikkaussivut siis olivat lähempänä säteensuuntaa, menettivät painostaan 3.6 %.

Uudempia tutkimuksia on tältä alalta sangen vähän, eikä yleensä niissä ole mainittu tutkimusten suoritustavasta mitään, joten on vaikea tietää, miten esitettyihin tuloksiin on tultu. Mainittakoon kuitenkin, että GAYER tyytyy ainoastaan toteamaan, että puu haihduttaa vettä enimmän poikkileikkauspinnastaan ja vähimmän ydinsäteitä vastaan kohtisuorasta pinnastaan.

Saman toteaa myöskin ENEROTH mainiten samalla, että haihtuminen poikkileikkauspinnasta suhtautuu haihtumismäärään säteensuuntaisesta leikkauspinnasta ja tangentin suuntaisesta leikkauspinnasta niinkuin 20:2:1.

Tekijä puolestaan rohkenee epäillä näiden lukujen paikkansa pitäväisyyttä, sillä ainakin ensimmäinen niistä tuntuu aivan liika korkealta. Omasta puolestaan pyytää tekijä esiintuoda seuraavaa.

Veden haihtuminen vapaasta vedenpinnasta, siis esim. järven pinnasta, on kääntäen verrannollinen ilmanpaineeseen, suoraan verrannollinen ilman absoluutiseen lämpötilaan, suoraan verrannollinen vesihöyryn kyllästyttämisvajaukseen ilmassa ja suoraan verrannollinen tuulen nopeuden neliöjuureen. Näistä tekijöistä on ilman relatiivinen kosteus se, joka vaihtelee eniten ja joka siis ensi sijassa määrää kuivumisnopeuden. Ilmassa kuivuvan kuoritun puun vesipitoisuus saavuttaa lopulta vissin tasapainon sitä ympäröivän ilman vesipitoisuuden kanssa ja silloin, niinkuin yllä on mainittu, puu saavuttaa kuivumisasteen, joka on riippuvainen ympäröivän ilman relatiivisesta kosteudesta. Kun taas ilman relatiivinen kosteus pääasiallisesti on riippuvainen ilman lämpötilasta, niin voidaan teorettisesti laskea, kuinka suuri puun vesipitoisuus on silloin kuin ilmalla on määrätty lämpötila ja sen vesipitoisuus vaihtelee niissä rajoissa, jotka meillä normaalisina vuosina ovat tavalliset. Ilman relatiivinen kosteus

on meillä pienimmillään toukokuussa (65 %). Koska toukokuun ilman lämpötila poikkeustapauksissa voi olla 20 %, niin voi puu tällöin saavuttaa pienimmän vesipitoisuutensa metsäkuivana, joka on Eneroth'in esittämän käyrän mukaan 12 %. Metsäkuivan puun relatiivisesta kosteudesta riippuva vesipitoisuusmaksimi ei taas ole sama kuin Eneroth esittää l. noin 22 %, vaan huomattavasti tätä suurempi, ehkä noin 35 %, jonka vesipitoisuuden yli kesän kuivunut kuorittu metsäkuiva puu epäedullisissa suhteissa voi metsässä saavuttaa.

Erittäin suuri merkitys on meidän oloissamme sahapuiden kuorimisella, joten siitä seuraavassa muutama sana.

Ensin tutkitaan sitä, kuinka talvella kaadetut ja samana vuonna uitetut tukkipuut kuivuvat. Tässä suhteessa on huomattu, että kuivuminen alkaa vasta kevätlämmössä, joten puu kuorittunakaan ei talvikuukausina sanottavasti kuiva. Niinpä talvella kaadetun ja heti kaadon jälkeen kuoritun tukkipuun paino kevenee maaliskuun ensimmäisien päivien tienoihin asti Eneroth'in mukaan noin 5 %. Mutta jo huhtikuussa alkaa puun paino huomattavasti vähentyä ja huhtikuun ja toukokuun alkupäivien välisenä aikana on puu vähentänyt painostaan tuoreena noin 15 %, joten se kaikkiaan on näinä 2 kuukautena keventynyt tuoreesta painostaan noin 25 %.

Helander on tutkinut puiden kuivumista eri metsätyypeillä huhtikuun 7 ja toukokuun 4 päivien välisenä aikana. Tutkimus koskee myös erikseen tyvitukkeja ja erikseen latvatukkeja. Tulokset osottavat, että puut paremmilta tyypeiltä kuivuvat nopeammin kuin huonompien tyyppien puut ja että latvatukit kuivuvat nopeammin kuin tyvitukit. Poikkeuksen tekee kuitenkin koivu, sillä kangaskoivut näyttävät kuivuvan paremmin kuin rämekoivut. Tulokset ovat muuten seuraavat:

Kuoritut puut:

Puulaji ja tyyppi	Tyvet		Latvat	
	Eri tyypit	Keskimäärä	Eri tyypit	Keskimäärä
Mänty mustikkamaalta	21.53	—	36.69	—
» puolukkamaalta	18.27	19.90	34.85	35.72
Kuusi mustikkamaalta	13.15	—	26.95	—
» korvesta.....	15.61	14.38	29.05	28.00
Koivu mustikkamaalta	9.75	—	13.50	—
» korvesta.....	13.72	11.74	16.71	15.10

Nämä HELANDER'in luvut osottavat siis, että havupuut kuivuvat nopeammin kuin koivu, ja että se kuivuminen, joka keväällä tapahtuu ennenkuin puut vieritetään uitettavaksi veteen, on sangen huomattava. Se on siksi suuri, että se esim. latvatukkeihin nähden lopullisesti ratkaisee, voivatko puut uida taikka ei. Nämä luvut osottavat myös, että kuoriminen on toimitettava mahdollisimman aikaisin ja mieluimmin jo metsässä, sillä tällä tavalla saavat kaikki puut kuivaa koko huhtikuun ajan, jolla seikalla, niinkuin ylläolevat luvut osottavat, on aivan erikoisen suuri merkitys puiden kuivumiseen nähden.

Toinen kuivamisilmiö, jota myös on tarkastettava, on vastakaadetun ja kuoritun tai osaksi kuoritun l. aisatun puun kuivuminen ilmassa. Havupuut kuivuvat tässäkin tapauksessa hieman erilailla kuin lehtipuut ja sitäpaitsi vaikuttaa kuivumiseen myöskin se, kuinka suuri %:määrä kuoresta on poistettu.

Kokonaan kuorittu puu ei kuiva sanottavasti helmikuun ensimmäiseen päivään mennessä, maaliskuun ensimmäiseen päivään mennessä on sen paino laskeutunut noin 4 %:lla. Huhtikuun ensimmäiseen päivään mennessä noin 10 %:lla, toukokuun ensimmäiseen päivään mennessä noin 25 %:lla, jonka jälkeen kuivuminen alkaa saada suuren vauhdin niin, että painon laskeutuminen kesäkuun ensimmäiseen päivään mennessä on noin 44 % ja heinäkuun ensimmäiseen päivään mennessä 46 %, elokuun ensimmäiseen päivään mennessä 46 % ja syyskuun ensimmäiseen päivään mennessä 45 % sekä lokakuun ensimmäiseen päivään mennessä 43 % tuoreen puun painosta. Kuivumisen voidaan siis sanoa pääasiallisesti tapahtuvan vuoden toisella neljänneksellä, ja vielä vuoden kolmannella neljänneksellä säilyttää vuoden alussa kaadettu puu korkeimman painonvähennyksensä. Sikäli kuin EKMAN'in ja ENEROTH'in tutkimuksista selviää, voi vielä kesäkuun puoliväliin asti kaadettu puu saavuttaa ilmakuivan puun suurimman kuivuusasteen, mutta käytännöllisesti katsoen voi sen suunnilleen saavuttaa vielä elokuun puu, joka on kaadettu ja kuorittu 10 p. tienoihin mennessä, sillä se saavuttaa vielä 40 % painovähennyksen tuoreesta painostaan. Tämän jälkeen kaadettu puu saavuttaa jo huomattavasti pienemmän painovähennyksen, nim. elokuun ja syyskuun ensimmäisen päivän välisenä aikana kaadettu puu noin 30 % maksimipainovähennyksen, ja syyskuun ja lokakuun välillä kaadettu puu noin 15 % painovähennyksen, jotavastoin syyskuun puolivälin jälkeen kaadettu puu ei saavuta suurempaa painovähennystä kuin noin 6 %, ja marraskuun ensimmäisen päivän jälkeen kaadettu puu ei enään kuiva ennenkuin vasta seuraavassa maaliskuussa.

Tästä selviää, että esim. paperipuut, kun niiden pinoaminen toimitetaan sinistymisen vastustamista silmällä pitäen, on edullisin kaataa kesällä. Sama seikka koskee myös useita lehtipuulajeja, sillä edellytyksellä, että ne voidaan säilyttää vajassa tai yleensä katoksen alla.

Koivun kuivuminen on hieman erikoinen. Koivu kuivaa jo jonkun verran maalis- ja huhtikuussakin, mutta ei saavuta ensimmäisen vuoden kuluessa edes täyttä 30 %:in painonvähennystä, ja jos koivupuu vielä saa kuivaa seuraavan vuoden, ei se silloinkaan saavuta sen suurempaa painovähennystä kuin noin 33 %. Koivupuu on siis aina, oli se kuinka kuivaa tahansa, raskaampaa kuin meidän havupuumme.

d. Siirrytään sen jälkeen kuorittuun tai halaistuun puuhun ja otetaan käsiteltäväksi sellainen puu, jonka kuoresta 50 % on poistettu, kuitenkin niin, että kuoriminen on tapahtunut raidoissa eikä siis siten, että toinen puoli puusta olisi yhtämittaisesti kuorittu ja toinen jätetty kuorimatta, eikä myöskään siten, että kuoresta olisi poistettu hajallisia laikkuja 50 % sen pinta-alasta. Tällöin huomataan (jo DU MONCEAU ja NÖRDLINGER) se muuten sangen vaikeasti selitettävissä oleva ilmiö, että vesimäärän väheneminen ei ole 50 % kokonaan kuoritun puun painon alenemisesta, vaan huomattavasti suurempi. Puoleksi kuorittu puu saavuttaa suurimman painovähennyksensä heinäkuun ja elokuun ensimmäisten päivien välisenä aikana, jolloin painovähennys sekä ENEROTH'in että EKMAN'in tutkimusten mukaan on 40 %. Tämän jälkeen alkaa puun paino hitaasti lisääntyä, jonkun verran hitaammin kuin kokonaan kuoritun puun, ja on se tammikuussa noin 33 % l. siis ainoastaan noin 4 % pienempi kuin ilmakuivan puun. Jos taas kuorimispintaa vähennetään, niin, että se on noin 20 %, niin alenee painon vähennys huomattavasti niin, että puu ei saavuta suurempaa maksimia kuin noin 30 % tuoreesta painostaan, parhaassa tapauksessa ehkä noin 35 %, jonka jälkeen heinäkuun alkupäivistä alkaen paino pysyy samana, suunnilleen elokuun loppuun asti, mutta alkaa sen jälkeen hitaasti kohota jokseenkin samassa suhteessa kuin 50 % kuoritun puun.

Lehtipuun suhteen on asia hieman toinen. 50 % kuorittu ja 20 % kuorittu lehtipuu saavuttaa heinäkuussa suurimman painonvähennyksensä ja tämän jälkeen alkaa paino lisääntyä, mutta paljon hitaammin kuin kokonaan kuoritun puun, ja lopputulos on se, että sekä kokonaan kuorittu että 50 % kuorittu puu lokakuun tienoissa ovat melkein yhtä raskaat ja jos puu joutuu olemaan metsässä vielä toisen vuoden, on ko-

konaan kuoritun ja osaksi kuoritun puun vesipitoisuus vuoden kaikkina kuukausina jokseenkin sama.

Havupuut kuivuvat toisena vuotena seuraavalla tavalla: vuoden ensimmäisinä kuukausina on osaksi kuorittu puu hieman raskaampaa kuin kokonaan kuorittu puu. Tämä ero alkaa jo toukokuun ensimmäisinä päivinä äkkiä pienetä ja melkein toukokuun puolivälissä, kuten BERGSTRÖM'in ja WESSLEN'in tutkimukset osottavat, on täysin kuorittu ja osaksi kuorittu puu samanpainoista.

Halkaistua puutavaraa ovat halot, aidakset ja sitäpaitsi voidaan halkaistuna puutavarana myöskin pitää sahalla halkaistuja puutavaroita. Koska sahalla halkaistut puutavarat myös samalla useimmiten ovat kuorittuja, ovat niiden kuivumisen lait erilaiset kuin halaistun puutavaran yleensä.

Halkoja tehtäessä on yleensä annettu määrämitta siitä, mihinkä mittaan asti puu saadaan pinoa halkaisemattomana. Tämä mitta on esim. meidän valtionrautateittemme määräyksien mukaan 7 sm.

Jos sitävastoin suurempia puita jätetään halkaisematta, niin eivät tällaiset halot kuiva siinä määrin, että niitä menestyksellä voitaisiin lämmitystarkoituksiin käyttää. Yleensä on tekijän havaintojen mukaan vaadittava, että havupuun painon tulee laskea tuoreen puun painosta noin 40 % ennenkuin puusta saadaan sen täysi lämpöteho, ja samoin lehtipuun painon noin 30 % saman tarkoituksen saavuttamiseksi.

Tätä kuivuusastetta ei halkaisematon puutavara yleensä saavuta, ellei ole kysymys sellaisista puista ja puunosista, joiden läpimitta on suunnilleen alle valtionrautateiden määräämän minimimitan ja jotka ovat huolellisesti hoidetut. Suurimman kuivuusasteen saavuttavat oksat, joka seikka taas riippuu siitä, että oksat saavat useimmiten kuivua neulaset päällä, siis samalla tavalla kuin rasiksi kaadettu puutavara. Näitä suuremmat puuosat saavuttavat ainoastaan 17—24 % painovähennyksen.

Halotun puutavaran kosteusvaihtelut ovat suunnilleen samansuuntaiset kuin kuoritun puun, mutta halottu puutavara ei kuitenkaan saavuta samaa kuivuusastetta kuin kuorittu puu. Jos puutavara kaadetaan vuoden ensimmäisellä neljänneksellä, alenee sen paino toukokuun alkupäiviin mennessä noin 10:llä %:lla, jotavastoin kuorittu puu on samana aikana vähentänyt painoaan 20 %:lla. Suurimman painovähennyksensä saavuttaa halottu puutavara heinäkuun 1 ja elokuun 1 päivän välisenä aikana, jolloin sen painovähennys on noin 36 % l. siis noin 10 % pienempi kuin kuoritun pyöreän puun. Tämän painovähennyksen saavuttaa käytännöllisesti katsoen kaikki puutavara, joka on kaadettu ennen heinä-

kuun 1 päivää. Tämän jälkeen kaadettu puutavara kuivaa sangen hitaasti niin, että elokuun 1 päivän jälkeen kaadettu puutavara saavuttaa ainoastaan 20 %:in painovähennyksen ja syyskuun 1 päivän jälkeen kaadettu ei käytännöllisesti katsoen kuiva ensinkään. Tämä merkitsee sitä, että metsään tehdyt halot ovat heti ensi kelillä tuotavat vajaan, sillä siellä ne vielä jatkavat kuivumista.

Edellä esitetty koskee havuhalkoja. Lehtipuuhalot kuivuvat yleensä jonkun verran paremmin kuin havupuuhalot, kun otetaan huomioon, että ne eivät kuitenkaan koskaan saavuta yhtä suurta painonvähennystä kuin ensinmainitut. Sitävastoin saavuttaa halottu lehtipuu kuivaessaan suunnilleen saman painonvähennyksen kuin kuorittu lehtipuukin, mutta lehtipuiden painonvähennysmaksimi siirtyy usein paljon myöhäisemmälle ajalle kuin havupuiden, ainapa syyskuun alkupäivien tienoille. Sitävastoin lehtipuut alkavat tämän jälkeen yleensä imeä itseensä enemmän vettä kuin havupuut, joten on erittäin tärkeätä, että lehtipuille saadaan ensi kelin aikoina vajaan.

Katoksessa jatkavat halotut puutavarat painonsa vähentämistä, joskin tämä tapahtuu sangen hitaasti ja epäsäännöllisestikin. Sentähden on hyvissä ajoin vajaan tuotu puutavara erittäin edullista polttoainetta. Toiselta puolelta on ulkoilmassa varastoitu puutavara, ellei sitä varastopaikalla ole ulkoilman kosteudelta suojattu, huonompaa kuin puutavara, joka heti ensi lumella tuodaan vajaan. Ulkoilmassa pinottuna säilytetyn havupuu-halkotavaran vesipitoisuus voi olla noin 10 % ja lehtipuutavaran ehkä sitä enemmänkin korkeampi kuin vajassa säilytetyn.[1])

Sahatun puutavaran kuivuminen noudattaa suunnilleen samoja sääntöjä kuin halotun puun, siinä tapauksessa, että on kysymys sahatavarasta, joka mitoiltaan lähentelee sitä pyöreätä puuta, josta se on sahattu. Sellainen sahattu tavara kuin esim. parrut, pelkat, vasat ja niitä muodoltaan muistuttava puutavara, ei kuiva yhtä nopeasti kuin pyöreä puu kuorittuna. Tämä riippuu siitä, että haihtumispinta sahatavaralla tulee paljon pienemmäksi kuin mitä se on sillä pyöreällä puutavaralla, josta se on veistetty. Jos taas on kysymys tavallisesta lautatarhatavarasta, niin on selvää, että se kuivuu sitä nopeammin mitä ohuempaa se on.

[1]) Tästä syystä on edullista, että halot esim. kaupunkipaikoissa ostetaan ja sijoitetaan kellariin jo heti syksyllä, jos käytettävää tilaa tätä varten on olemassa. Jos taas puita välttämättömästi on ostettava vähitellen, on aina tarkastettava kuinka puut on pinottu. Jos puut ovat pinotut korkeisiin ja haloilla katettuihin pinoihin, niinkuin esim. halot valtion rautateiden varastopaikoissa, niin on niiden vesipitoisuus suunnilleen yhtä alhainen kuin vajassa kuivatun puun.

Joka tapauksessa ovat sahatavaran kuivumisajat kuitenkin pääpiirteissään samat kuin kuoritun ja halaistun tavarankin. Keväällä ja alkukesällä kuivaa sahatavara yleensä sangen nopeasti, noin yhdessä à kahdessa kuukaudessa, mutta jo kesäkuun puolivälin jälkeen tapuloitu puutavara vaatii 2—3 kk kuivumisajan. Talvella kestää kuivuminen 4—6 kk.

Lautatarhakuivauksen tarkoituksena on saattaa puutavara siksi kuivaksi, ettei se enää sinisty. Sitäpaitsi ei puutavara lautatarhakuivana ollessaan myöskään vielä ala halkeilla.

Lautatarhakuivan puun vesipitoisuus voi erinäisissä tapauksissa, esim. kuivina kesinä, olla sangen alhainen, esim. 8—10 %, jopa pienempikin, ja varsinkin on 1″ ja sitä ohuempi tavara tähän aikaan sangen kuivaa. Tapulien kattamistapa, konehuoneen läheisyys, rautatielinjan läheisyys, lautatarhapohjan kuumuus j.n.e. aiheuttavat, että lautatarhapuun vesipitoisuus on hyvin vaihteleva. Suurista ameriikkalaisista puulajeista sahattu tavara sisältää paljon vähemmän vettä kuin meikäläinen. Keskimäärin sisältää hyvin lautatarhakuivattu puu noin 15 % vettä. Lautatarhakuiva aste merkitsee usein sitä, että puu on vähentänyt alkuperäistä vesimääräänsä noin 50 %:lla. Että näin suuri vesimäärän alennus voidaan saavuttaa talvellakin, riippuu siitä, että puu hyvin tapuloidaan ja että tapulit hyvin katetaan. Näin suuren vesimäärän alennuksen saavuttaminen ei ole mahdollista elleivät kuivaussuhteet ole erikoisen edulliset.

Sahatun puun painon keveneminen lautatarhassa on, kuten tekijän tutkimukset osottavat, omituinen siinä suhteessa, että uitettu puu kuivaa huomattavasti nopeammin kuin uittamaton, mutta toiselta puolen on uitettu puu paljon riippuvaisempi ulkoilman kosteusvaihteluista kuin uittamaton puu. Tämä seikka on hyvin tärkeä senvuoksi, että sillä on merkitys puun keinollisessa kuivauksessa. Sellaiset keinolliset kuivauslaitteet, jotka ovat aijotut uittamattomalle puulle, esim. erinäiset amerikalaiset ja saksalaiset, eivät näin ollen meidän oloihimme sovellu.

3. Puun veden-imemis- ja uppoamis-ilmiö.

Tämän ilmiön suhteen on tekijä tehnyt tutkimuksia, jotka tätä kirjoitettaessa julkaistaan Svenska Flottningschefsföreningens

Tidskrift'issä, joten tämän ilmiön käsittely tässä yhteydessä sivuutetaan. Tähän on syynä myös, että tutkimus tällä alalla on sangen alullaan, joten esim, toistaiseksi ei ole tutkimuksissa voitu päästä varmoihin ja vakuuttaviin menettelytapoihin. Sekä Ruotsissa että Ameriikassa on tämä puoli puun vesipitoisuusilmiötä par'aikaa tutkimuksen alaisena ja mielenkiintoisina sekä alustavaa merkitystä olevina mainittakoon ne tutkimukset asiasta, jotka ovat tehneet Öfverholm, Kinnman ja Löf Ruotsissa sekä Madison-laboratorio (Dunlop y.m. Koehler'in mukaan) Ameriikassa.

4. Vesipitoisuuden vaihteluista johtuvat puun ko'on muutokset.

Puun vesipitoisuuden vaihtelut aikaansaavat puussa erilaisia sekundäärisiä ilmiöitä. Näistä mainittakoon a. puun kokoonkutistuminen, b. puun paisuminen, c. puun halkeileminen ja d. puun kieroileminen.

a. Puun kokoonkutistuminen. Puun kutistumisella ymmärretään misellien toisiaan lähenemisestä johtuvaa puun ko'on muutosta. Puun anatoomisesta rakenteesta johtuu, että misellien, joiden ajatellaan muodostavan soluseinän, täytyy lähetä toisiaan heti, kun soluseinä on alkanut kuivua. Puun kutistumisessa onkin näin ollen 2 eri astetta. Ensiksi haihtuu vesi soluonteloista. Se on pitänyt soluja pullollaan, ja niin pian kuin veden paine on vähentynyt, pääsevät myös solut laskeutumaan pienempään tilaan. Kun soluontelot täten ovat tulleet tyhjiksi, alkaa vesi haihtua soluseinistä ja tällöin alkaa kutistumisessa uusi aste.

Jos puu olisi homogeeninen kappale, niin se kutistuisi yhtä paljon joka suuntaan, mutta puu on kokoonpantu ikäänkuin pitkistä kummastakin päästä suljetuista putkista, joiden pituus on useita kymmeniä kertoja läpimitta, mutta joiden seinä joka kohdalta on suunnilleen yhtä paksu. Kun misellien voidaan otaksua olevan kuutiomaisia kappaleita, niin on selvää, että siirtymän niin hyvin sisään- kuin ulospäin täytyy esim. säteensuunnassa olla suuremman suhteellisena lukuna katsoen kuin pituussuunnassa ja tangentin suunnassa taas suuremman kuin säteensuunnassa senvuoksi, että siirtymisen suunta tulee olemaan ikäänkuin kolmion sivu tylsäkulmaisessa kolmiossa.

Kutistumisen suuruuteen vaikuttavat monet seikat. Erittäin tärkeänä on pidettävä itse puun rakennetta. Jos puun soluseinät ovat paksut puun soluonteloihin verraten, niin sitä enemmän voidaan niiden otaksua

sisältävän misellejä ja misellivälejä. Sitä suuremmiksi muodostuvat myöskin siirtymiset misellivälien suuretessa tai pienetessä, ja senvuoksi onkin yleensä paisuminen suuri sellaisissa puulajeissa, jotka sisältävät suhteellisen paljon soluseiniä. Tämä taas puolestaan merkitsee sitä, että yleensä ne puut ja puunosat, joiden ominaispaino on suurehko, kutistuvat enemmän kuin ne, joiden ominaispaino on pienehkö. Kuitenkin on otettava huomioon se seikka, että toisiinsa verrattavien puuleikkausten tulee tällöin olla otetut samassa suunnassa säteen ja tangentin suuntaan nähden. Yleensä voidaan muuten sanoa, että oksat kutistuvat enemmän kuin runko ja runko yleensä enemmän kuin juuret.

Puun vesipitoisuudella kuivumisen alkaessa ja kuivumisen loppuessa on luonnollisesti myös tässä suhteessa tärkeä merkityksensä. Jos ajatellaan kasvavaa puuta, niin ovat esim. joka sadekauden loppu, joka aamuyö y.m. sellaisia aikoja, jolloin puu on suurimmillaan. Jos puu esim. on näihin aikoihin mitattu, ja se senjälkeen mitataan kaadettuna, niin tullaan huomaamaan, että sen kutistuminen on paljon suurempi kuin jos puu olisi mitattu keskipäivällä tai kuivana vuodenaikana. Yleensä siis tuoreen puun kutistuminen on riippuvainen siitä, kuinka vesipitoista se on ollut kaadettaessa ja luonnollisesti myöskin siitä, mihin vesipitoisuusasteeseen se kuivataan. Voidaan yleensä sanoa, että puun vesipitoisuus ja puun kutistuminen ovat suoranaisessa suhteessa toisiinsa l. mennäksemme vielä pitemmälle, soluseinän koko ja sitä ympäröivän ilman vesipitoisuus ovat suoranaisesti riippuvaisia toisistaan. Käytännöllisiä tarkoituksia varten on kuitenkin tarpeellisinta tietää, kuinka paljon puu tuoreesta kutistuu ilmakuivaan lautatarhakuivaan ja kuivaan asteeseer siirtyessään.

Väriaine- ja hartsipitoisuudella on merkityksensä puuaineen kutistumisessa. Yleensä voidaan nim. sanoa, että nämät molemmat vähentävät puun kutistumista. Tällöin on kuitenkin aina pidettävä muistissa, että on kysymys puuaineesta, jonka väri on terve; jos on kysymys epänormaalisesta, esim. sienien aiheuttamasta, väristä, niin vaikutus on sangen vähäinen, toisissa tapauksissa kutistumista lisäävä, toisissa tapauksissa sitä vähentävä ja vieläpä aivan merkityksetönkin, niinkuin on esim. puun sinistymistä aiheuttavan sienen, Ceratostoma piliferan, laita. Sekä hartsien että väriaineiden vaikutus perustuu m.m. siihen, että ne estävät vettä pääsemästä misellien väliin ja toiseksi vaikeuttavat veden haihtumista niin hyvin soluista kuin soluseinistä. Puiden kutistuminen lausuttuina prosenteissa pituus-, säteen ja tangentin suunnissa on MAYR'in mukaan, kun puut järjestetään enimmän kutistuvasta vähimmän kutistuvaan, seuraava:

	p.	r.	t.
tammi	0.2	4.3	6.5
saarni	0.5	4.6	7.2
pyökki	0.3	5.0	9.3
valkopyökki	0.8	5.6	10.5
vaahtera	0.1	3.2	6.0
koivu	0.5	4.5	6.5
kuusi	0.08	2.0	4.5
mänty	0.1	2.2	4.4
lehtikuusi	0.15	3.3	4.2
mahonki	0.1	1.1	1.8

Myös ydinsäteiden leveydellä on merkityksensä niin, että, kuten yllä oleva taulukko osottaa, sellaisten puulajien kutistuminen, joilla on leveät ydinsäteet tai paljon kapeita ja leveitä ydinsäteitä, on yleensä suurempi kuin niiden, joiden ydinsäteet ovat kapeita ja harvassa.

Kutistumisesta pyytää tekijä edelleen mainita:

Kutistuminen on siihen asti, kuin puun vesimäärä vielä on pieni, noin 30 %, jokseenkin mitätön, joten siis kokonaiset puunrungot eivät tässä kosteusasteessa vielä huomattavasti kutistu.

Vasta sen jälkeen kun vesimäärä tästä alkaa aleta noin 20 %, alkaa kutistuminen käydä tuntuvammaksi. Kutistumisnumerot samalla tavalla laskettuina kuin edellä, eivät kuitenkaan tule edellisiä pienemmiksi sentähden, että puu ei vielä ole alkanut huomattavammassa määrässä halkeilla. Kun nim. puu kutistuu, kuivaessaan 20 %:sta noin 12 %:ksi, ei puuta mitattaessa koko kutistuminen tule otetuksi huomioon, sillä samalla kertaa syntyy puuhun suuret määrät pienen pieniä halkeamia, jotka laajentavat puun kokoa. Tästä syystä voidaankin, vaikka sahatavara on hyvin eri kuivaa, puhua samoista kutistumisvaroista sahatavaralle, ja tässä suhteessa vaikuttaa oikeastaan kaikkein enimmän se, miltä kohtaa puuta lauta tai lankku on sahattu. Jos lankku on sahattu läheltä ydintä, on sen kutistuminen luonnollisesti aivan sama kuin puun kutistuminen säteen suuntaan ja jos lankku taas on sahattu läheltä pintaa, on sen kustistuminen aivan sama kuin puun kutistuminen tangentin suuntaan (Koehler'in mukaan ja Fluryn mukaan keskimäärin 6 %).

Hyvin yleinen tapa puun kutistumisen arvioimisessa on sahata puut norjantuumissa, jolloin ne kuivuneina täyttävät vastaavien tuumalukujen mukaiset mitat englanninmitoissa. Tämä tapa ei kuitenkaan ole täysin pätevä senvuoksi, että niinkuin edellä mainittiin, puun kutis-

tuminen on riippuvainen siitä, kuinka kaukana ytimestä lauta on sahattu. Tästä syystä on tullut tavaksi määrätä vissit kutistumisvarat eri levyyksille. Tämä menettelytapa on sangen oikea, sillä tavallisesti eri leveysmitta jo sinällään osottaa, mistä osasta puuta lauta tai lankku on sahattu.

Samalla tavalla on myös ruvettu käyttämään eri paksuuksille omia kutistumisvarojaan, sillä myöskin tässä tapauksessa ilmaisevat tavallaan eri leveydet sitä, onko kutistuminen katsottava enemmän säteen kuin tangentin suuntaiseksi.

Luonnollista on myös, että kutistumisvara yleensä on suhteellisesti suurempi silloin kuin on kysymyksessä sahatun puutavaran paksuussuunta kuin sen leveyssuunnassa, sillä yleensähän sahatavaran paksuussivu en aina enemmän tangentin suuntainen.

Kutistumisvarat, joita sahalaitoksissa käytetään, eivät yleensä pidä yhtä edellä esitettyjen keskimääräisten lukujen kanssa. Tämä johtuu siitä, että sama puutavaradimensio aina otetaan erikoisesta osasta puuta ja että meillä esim. aina on kysymys yksinomaan uitetusta puusta. Niinkin tärkeä kysymys kuin kysymys sahatavaran ja puutavaran yleensä kutistumisesta odottaa toistaiseksi vielä ratkaisuaan, sillä esim. ei ole selvitetty eri kuivaustapojen vaikutusta puun kutistumiseen eikä seikkoja, joiden avulla sitä tarpeen mukaan voidaan edistää tai ehkäistä.

b. Paisumisella ymmärretään puun volyymin laajenemisesta veden tai vesihöyryn imeytymisen vuoksi puuhun. Paisuminen on siis päinvastainen ilmiö kuin kutistuminen.

Paisumisilmiötä on yleensä sangen vähän tutkittu. Vanhimmat tutkimukset tällä alalla on tehnyt hannoverilainen LAVES, joka on tutkinut laajenemista eri puulajeilla ja kaikkiin suuntiin. Näiden tutkimuksien vertaisia laajuudessa ei ole myöhemmin tehty. Hän käytti tutkimuksiinsa absoluutisesti kuivaa puuta, jonka hän antoi imeä vettä itseensä siksi, että puu saavutti 13 % painolisäyksen. Tällä tavalla saavutti puu siis suunnilleen sen kosteusasteen, mikä sillä on huoneessa. Käytännöllisesti ei tällaisella laajenemisella ole mitään merkitystä, sillä absoluutisesti kuivaa puutahan ei missään käytetä. Mutta toiselta puolelta LAVES myös tutki, kuinka paljon huonekuiva puu kutistuu tullessaan absoluutisesti kuivaksi ja tällä tavalla hän tuli huomaamaan, että paisuminen on suhteellinen kutistumiseen. Juuri tämän lain lausuminen on hänen suurin ansionsa, sillä sittemmin ovat myöskin myöhemmät tutkimukset, esim. STABY'n, osottaneet, että hänen lausumansa laki pitää paikkansa.

Myös NÖRDLINGER on tehnyt tutkimuksia siitä, kuinka suuri puiden laajentuminen on huonekuivasta asteesta 30 % kosteutta sisältävään, jolloin hän on määritellyt puun laajenemisen käytännölliset rajat. Myös nämä tutkimukset ovat hyvin arvokkaat, mutta niiden selostaminen tässä ei ole tarpeellinen, sillä jo LAVES'in lain kautta voidaan ilman muuta käyttää puiden paisumista arvosteltaessa niitä numeroita, joita yleensä on annettu sen kutistumisesta. Sitävastoin on NÖRDLINGER'in ansioksi mainittava että hän oli ensimmäinen, joka huomasi n. k. alemman paisumisrajan. NÖRDLINGER huomasi nim., että kun puu on saavuttanut sen vesimäärän ja volyymin, joka sillä on tuoreena, niin se ei sen jälkeen enään sanottavasti laajene. Laajenemista tapahtuu kyllä, mutta tapahtuu se siksi hitaasti, että sitä osottava käyrä tulee milt'ei yhdensuuntaiseksi x = akselin kanssa.

Edelleen on todettu, että puun paisumiseen vaikuttavat aivan samat seikat, kuin sen kutistumiseenkin, nim. kuivuus, vesipitoisuus, rakenne, hartsipitoisuus j.n.e., joten paisumista ja kutistumista oikeastaan voidaan pitää saman ilmiön eri muotoina.

Puun paisumisominaisuudella sinänsä on huomattava käytännöllinen merkitys. Mainittakoon, että sitä on suoranaisestikin käytetty hyväkseen. Puun paisuminen tapahtuu hyvin voimakkaasti, ja sen vastustamiseksi tarvitaan melkoista mekaanista voimaa. Tätä voimaa on käytetty hyväkseen esim. kivitöissä. Kuivia puukiiloja on työnnetty kivien halkeamiin ja kun ne täällä kosteudessa ovat paisuneet, ovat ne laajentaneet halkeaman niin, että kivikappaleet on voitu irrottaa.

c. Halkeilemisilmiö saa alkunsa jo kasvavassa puussa. Sen kulku on tekijän havaintojen mukaan seuraava. Jo yksityinen soluseinä on rakenteeltaan ja lujuussuhteiltaan epätasainen, ja soluissa ja soluryhmissä tulee tämä epätasaisuus vielä huomattavammaksi puhumattakaan eri puun osista. Kun sydänpuuta alkaa muodostua, tapahtuu siihen siirtyvissä solukoissa huomattava kosteuden vähennys. Sydänpuuhan sisältää, niin kuin edellä on mainittu, ainoastaan 15—20 % vettä. Tämä vesimäärän vähennys, joka muuten johtunee m.m. puussa tapahtuvista vettä sitovista kemiallisista prosesseista, saa aikaan puiden kutistumista, ja koska jo yksityisen solunkin eri osat ovat erilaisia, niin tapahtuu tämä kutistuminen epätasaisesti. Kutistumisen epätasaisuutta lisää myös se seikka, että kosteus poistuu eri soluista eri nopeasti. Tällä tavalla syntyy jo puun kasvaessa sydänpuun muodostumisen yhteydessä halkeamia soluseiniin. Nämät halkeamat ovat mitättömän pieniä, eikä niillä sellaisenaan olisi kovinkaan suurta merkitystä, elleivät ne käsittäisi

useita toisiinsa liittyneitä soluja yht'aikaa. Mutta siellä, missä tällaisia halkeamia liittyy yhdeksi suureksi halkeamaksi, saadaan aikaan heikko kohta puussa, josta halkeaminen voi alkaa.

Toinen seikka, joka tällaisia halkeamia edistää, on pakkanen. Pakkasessa tulee puuaine yleensä hauraammaksi, ja ENEROTH'in mukaan on aiheena tällaisten primäärihalkeamien laajenemiseen usein puun hauraus pakkassäällä.

Kolmantena syynä mainittakoon edelleen: puun mekaaninen liikunta. Puu ei pysy yleensä hetkeäkään liikkumattomana, vaan pienessäkin tuulessa sen runko heiluu hyvinkin tuntuvasti. Tällöin jatkuvat halkeamat siten, että useita primäärihalkeamia yhtyy toisiinsa ja halkeama saa säteen suunnan. Koska trakeiidit ytimen ympärillä ovat lyhimmät pideten vähitellen pintaan päin, niin eivät tällaiset lyhyet trakeiidit voi kietoutua toisiinsa yhtä hyvin kuin pitkät ja sitäpaitsi on niiden seinien vetolujuus pienempi kuin pinnemmalla olevien trakeiidien. Tästä syystä kehittyvät halkeamat parhaiten juuri ytimen läheisyydessä, ja että halkeamat saavat säteen suunnan, riippuu siitä, että vuosirenkaan vetolujuus on pienin tangentin suunnassa.

Jos puu on esim. ovaalin muotoinen, on huomattava, että siinä samankin vuosirenkaan vetolujuus on pienin vuosirenkaan lähinnä ydintä olevassa kohdassa. Se, että puu yleensä tulee ovaalin muotoiseksi, on riippunut siitä, että puu on ollut enimmän rasitettu siinä suunnassa, jossa läpimitta on suurin. Juuri tästä syystähän tälle suunnalle on kokoontunut enimmän puuta vahvistavaa ainetta. Tästä syystä on myös selitettävissä, minkä vuoksi juuri ovaalin muotoiset puut halkeavat parhaiten pisintä diametriansa vastaan kohtisuoraan suuntaan.

Tällä seikalla on muuten merkityksensä esim. puita sahatessa. Puu on yleensä sahattava siten, että sahanterä tulee kulkemaan lyhimmän diametrin suuntaan, sillä silloin tulevat halkeamat lankun poikkileikkauspinnan pituussivun suuntaisiksi.

Yllä kerrotulla tavalla syntyvät ne halkeamat, joita kutsutaan ammattikielessä sydänhalkeamiksi. Pienemmillä puilla ne ovat siksi vähäpätöisiä, ettei niitä tarvitse ottaa huomioon sahauslaskelmia tehtäessä, mutta ikivanhoissa aarniometsissä, joiden ikä on parisataa vuotta ja ehkä enemmänkin, ovat ne sangen suurimerkityksellisiä. Mainittakoon, että eräästä 40 standardin suuruisesta, näköjään aivan virheettömästä, sahatavaraerästä 3 × 9 lankkuja, ainoastaan 13 standardia lopulta kuivana osottautui laivauskelpoiseksi. Kaikki muut olivat pilalle haljenneet.

Sydänhalkeamasta ei ole pitkä askel n.k. tuulihalkeamaan, joka syntyy joko myrskyn tai pitkäaikaisen samansuuntaisen tuulen vallitessa. Tällöin tuulen suuntaa vastaan kohtisuoran halkeama kehittyy suuremmaksi kuin muut ja ulottuu usein sydänpuun ulkopuolellekin. Kun tämä halkeama täten on päässyt näin aivan erikoisesti kehittymään, niin jää muiden halkeamien kasvaminen väkäpätöiseksi, ja täten syntyy puuhun näkyvä halkeama, joka ei edes puun kosteana ollessakaan sulkeudu. Tuulihalkeaman erottaa siis puusta jo puun tultua kaadetuksi ja puun siis tuoreena ollessakin, joka ei ole sydänhalkeaman laita.

Kasvavissa puissa esiintyvistä halkeamista on edellisestä riippumattomana mainittava vielä varsinainen pakkashalkeama. Tämä syntyy seuraavalla tavalla. Kun syystalvella ilmat hyvin äkkiä kylmenevät, kutistuvat puun pintakerrokset paljon nopeammin kuin sisäkerrokset ja tämä kutistuminen on luonnollisesti suurin juuri niissä puun pintakerroksissa, jotka välittävät nestenousua puussa. Tämä kutistumisen suuruus riippuu myös siitä, että nämä kerrokset eivät ole täydellisesti puutuneet, vaan jossain määrin kolloidaaliset. Ne muistuttavat siis tavallaan limaista massaa, joka usein sisältää sangen paljon, ainapa 90 % asti, vettä. Kun tällainen limainen massa äkkiä jäätyy, tapahtuu siinä sangen huomattava kutistuminen niin, että kutistumisprosentti tangentin suunnassa Hess'in tutkimusten mukaan voi nousta aina 20 %:iin. Sisempien kerrosten kutistuminen ei edes suurimmissakaan lämpömäärävaihteluissa voi olla yli 10 %, ja tällä tavalla syntyy siis pingotus puun ulompien ja sisempäin kerroksien välillä. Täten katkeaa siis vuosilusto heikoimmalta kohdaltaan, joka kohta tällä kertaa on puun aukealla puolella l. siis säännöllisessä metsikossa puun eteläpuolella tai yleensä sillä puolella, johon latvuksen paino suuremmassa määrin kohdistuu. Tämä puoli on käytännöllisesti katsoen se, missä oksat ovat vankimmat, ja senvuoksi tällainen pakkashalkeama tavataankin juuri vankimpien oksien puolella. Siihen nähden, että tämä halkeama on syntynyt puun elävässä osassa, tahtoo puu sitä myöhempinä kasvuaikoinaan uudella vuosilustomuodostuksella peittää.

Tällä tavalla puun pintaan ulottuva halkeama on tietysti hyvin altis ilman kosteudelle niin, että siihen aina kokoontuu vettä, joka jäätyessään yhä enemmän puristaa halkeaman reunoja irti toisistaan tai kokoontuu siihen neulasia, kaarnanpalasia j.n.e., jotka vähitellen alkavat lahottaa puuta sen kautta, että tällaiseen pintahalkeamaan tavallisesti tunkeutuu vahinkosieniä.

Paraassa tapauksessa voi puu pitkäaikaisten ponnistusten jälkeen

kasvattaa umpeen halkeaman, joten kuori sen uudestaan peittää. Silloin ei halkeamasta ulkoapäin katsottuna näy muuta merkkiä kuin juovantapainen kohoke puun pinnalla, joka usein halkeaman vanhetessa voi kokonaan hävitä.

Jos on kysymys lehtipuista, niin tällainen juovantapainen kohoke säilyy jokseenkin varmasti paljain silmin huomattavana, joten on helppo arvostella, milloin puussa on tämä vika tai ei. Hyvin hyvänä esimerkkinä tästä tapauksesta mainittakoon se pyökkilehtokuja, joka johtaa *Versailles*'ista pieneen *Trianon*'iin. Tämän lehtokujan puissa olevat pakkashalkeamat on DUHAMEL DU MONCEAU aikoinaan todennut, ja kaikissa tämän lehtokujan varrella olevissa vanhoissa pyökeissä on halkeamia vielä tänäkin päivänä.

Myös meidän kotimaisissa lehtipuissamme nähdään nämä pakkashalkeamat selvästi haavalla ja raidalla, jotavastoin niiden erottaminen koivussa, varsinkin hyvällä maaperällä kasvavassa hieskoivussa, on verrattain vaikeaa. Hyvällä maaperällä kasvavassa kuusessa ne myös voidaan kutakuinkin hyvin erottaa, mutta vähänkin huonommalla maaperällä kasvavissa kuusissa on niiden erottaminen sangen vaikeata. Mäntymetsissä sitävastoin ei tällaista pakkashalkeamaa voida silmämäärällä erottaa, joten tavallinen keino metsiä arvioitaessa on tutkia, onko entisissä kannoissa merkkiä näistä. Jos niistä merkkiä löydetään, ja kannoissa olevat halkeamat yleensä ovat samalla puolella, niin silloin on syytä otaksua, että halkeama on yleinen vika niissä puissa, jotka ovat samanikäisiä kuin kannotkin.

Myös metsäpalojen yhteydessä syntyy puihin halkeamia. Kun metsäpalo kuumana, mutta tuulisena kesäpäivänä käy kautta metsän, niin voi sattua, että tuli ei ennätä nousta puiden latvoihin, mutta sitävastoin kuivaa puun kuoren siltä puolelta puuta, josta tuli on metsään tullut. Aikaamyöten kuivaa puu tältä puolelta ja kuivumisen seurauksena on, että kuori, jos sitä on jäänyt palamattakin, irtaantuu puusta. Tällä tavalla tulee siis puun kuollut nilakerros suorastaan ilman vaihtelujen vaikutuksen alaiseksi. Tällöin ei se voi kutistua ja laajeta luonnollisella tavalla, siitä yksinkertaisesta syystä, että se tavallisesti on ollut kuoren suojaamana, ja siitä on seurauksena pintakerroksien halkeileminen. Jos haava ei ole kovin suuri, kasvaa se vähitellen umpeen, mutta koska palaneelta osalta nilakerros on kuollut, niin eivät sen yli kasvaneet vuosilustot voi siihen elimellisesti tarttua, vaan välille jää tyhjä osa, joten puuhun syntyy paitsi edellä mainittua säteen suuntaista myöskin tangentin suuntainen halkeama.

Kaikki edellämainitut halkeamatapaukset esiintyvät kasvavassa puussa. Sen jälkeen kuin puu on kaadettu ja saa kaadon jälkeen kuivua, suurenee halkeama yleensä sillä kohtaa, missä se puulle on ollut enin tehokas. Tästä syystä siis sellainen puukappale, jossa esim. ennestään on ollut sydänhalkeamia, laajenee juuri näiden kohdalta ja halkeamat voivat parhaassa tapauksessa ulottua aina pintaan asti. Kun siis sahateollisuudessa sanotaan, että jossakin puukappaleessa on halkeama, tarkoitetaan sillä sellaista sahattua puukappaletta, jossa jo kasvavana on ollut tämä vika ja jossa se siis lautatarhassa edelleen kuivuessa yhä edelleen laajenee.

Mutta, kuten edellä on esitetty, on puun rakenne siksi epätasainen, että kasvavassakin puussa aina on ollut pieniä halkeamia, joita usein heti puun kaadon jälkeen ja puun tuoreena ollessa ei paljaalla silmällä edes voida erottaa. Näiden halkeamien kehitys puun kuivuessa on sekin säteensuuntainen, mutta jo se, että ne puun kasvavana ollessa eivät ole suuremmassa määrin laajentuneet, todistaa sitä, että ne eivät ole olleet joko toisiinsa yhteneviä tai käsittäneet sellaisia puuosia, joiden lujuus on pieni. Tästä syystä tällaiset halkeamat tosin laajenevat puun edelleen lautatarhassa kuivuessa, mutta niiden teknillinen merkitys puun lujuusominaisuuksien vähentäjänä on sangen vähäpätöinen. Tällaisia halkeamia, jotka tulevat näkyviin puun kuivuttua lautatarhassa, kutsutaan teknillisellä nimityksellä risoiksi. Sen johdosta, että nämät n.k. risat ovat syntyneet puun kuivaessa lautatarhassa, ovat ne luonnollisesti huomattavissa juuri niissä osissa puuta, jotka ovat parhaiten kuivumiselle tai ilmanvaihdolle alttiita, siis lautatapulin ulkokerroksissa ja varsinkin puiden päissä.

Myös risoilla on käytännöllinen merkityksensä sikäli, että niitä ei suvaita ensiluokan exporttitavarassa. Tällaisten risojen välttäminen on muuten sangen yksinkertainen asia. Sen sijaan, että puutavara, kuten tähän asti on ollut tavallista, katkotaan heti sahattua tasamittaiseksi, on paras jättää puutavaran katkominen vasta siihen hetkeen, jolloin puutavara laivataan. Kun puutavara tällöin katkotaan tasamittaiseksi, eivät sen vastakatkotut päät tavallisesti ennätä matkalla halkeilla.

Mitä huolemiin l. tangentinsuuntaisiin halkeamiin puussa tulee, niin ei niitä yleensä suvaita exporttisahatavarassa ja siitä syystä voidaankin ne jo ennen tapuloimista puusta erottaa.

d. Puun kieroileminen johtuu ensinnäkin siitä, että puu kutistuu erilailla säteen ja erilailla tangentin suunnassa. Sitä selvittävät parhaiten seuraavat tekijän tekemät havainnot. Jos esim. paksu lankku

halkaistaan, niin ovat sen pintaosat kuivuessaan jo saaneet lopullisen kokonsa, jotavastoin sisäosa usein on tuoreempaa ja sisimmät pintaelementit ovat ulommaisten kerroksien puristuksen alaisia. Tästä syystä pääsee sisäosa kuivuessaan edelleen kutistumaan ja tämän vuoksi puu taipuu l. vetäytyy kieroon sisimmälle puolelleen. Tämä on näennäisesti ristiriidassa sen kanssa, mitä edellä on sanottu puutavaran kutistumisesta tangentin suunnassa, sillä useimmitenhan juuri ulommainen leikkaus on enemmän tangentin suuntainen kuin sisempi ja näin ollen olisi juuri ulomman sivun pitänyt kutistua enemmän. Näin olisi tapahtunutkin, jos ei lankku sahautuksen jälkeen olisi kuivunut. Se tavara, mitä höyläykseen käytetään, on aina oleva kuivaa, ja tästä syystä höyläystavarassa on otettava huomioon juuri sen suuntainen halkeaminen kuin edellä mainittiin.

Jos tuore puu sahalla halkaistaan, tapahtuu kieroon vetäytyminen kaikkein säännöllisimmin. Ytimen kautta tehdyllä leikkauksella halkaistu puu ei nim. kuivaessaan jää puoliympyrän muotoiseksi, vaan ympyrän sektorin, jossa säteiden välinen kulma on oikokulmaa pienempi.

Jos tuore puu sahataan laudoiksi, niin vaikuttaa tangentin suuntainen laajeneminen sitä enemmän, mitä lähemmäksi pintaa tullaan. Kaikki laudat, jotka sahataan ytimen ja puun ulkokehän välistä, vetäytyvät kieroon siten, että niiden ympyrän kehään päin tuleva osa kuivuessa jää pitemmäksi kuin ytimeen päin tullut osa.

Myös puun laajeneminen pituussuuntaan merkitsee jonkun verran tässä yhteydessä. Varsinkin silloin, kun on kysymys kierosta puusta, vetäytyy puu pituuslaajennuksensa vuoksi siksi paljon kieroon, että siitä voi olla käytännöllisiä hankaluuksia. Meidän havupuistamme on kuusi yleensä rakenteeltaan kierompaa kuin mänty. Tästä syystä esim. kansanmiehet eivät mielellään käytä kuusta rakennushirtenä, vaan aina, kun suinkin voivat, rakentavat seinänsä männystä. Myöskin laivarakennusalalla, jossa esim. mastoina ja raakoina käytetään hyvin pitkiä puita, on tässä suhteessa havaittavana huomattavia hankaluuksia. Senvuoksi masto- ja raakapuuksi käytetään melkein yksinomaan mäntyä.

Toiseksi riippuu puun vetäytyminen kieroon myöskin hyvin paljon puuosien erilaisesta kyvystä imeä itseensä vettä tai siitä, että puiden eri osat joutuvat kosteuden suhteen erilaiseen asemaan. Esim. tavallisessa rakennushirressä tulee sisäpuoli olemaan ulkoilmaan päin ja siis vaihtelevan kosteuden alaisena, jotavastoin sisäpuoli tulee olemaan huoneeseen päin ja useimmiten siis verrattain tasaisen kosteuden alaisena. Sisäpuoli kuivuu siis huonekuivaksi eikä tällaisena sanottavasti kutistu

eikä laajene, jotavastoin ulkopuoli kutistuu ja laajenee sen mukaan kuin ilman kosteus vaihtelee. Tästä syystä on rakennuksen seinä aina liikkeessä ja sitä enemmän mitä kierompia siinä olevat puut ovat. Tästä syystä esim. kirvesmies rakennushirttä seinään asettaessaan aina kääntää sen suorimman ja oksattomimman puolen ulospäin.

Lopuksi vaikuttaa myöskin halkeileminen tuntuvasti puun kieroon vetäytymiseen. Jos esim. lankku on leikattu siten, että siinä toisessa sivussa on lähellä ydintä olevia oksia, niin tapahtuu kutistuminen, kuten edellä jo mainittiin nopeammin ulkosivun puolella, mutta tällöin tulee lankku taipuneeksi kokoon keskeltä ja ytimen puoli joutuu ikäänkuin venytyksen alaiseksi, joka laajentaa ytimenpuoleisia halkeamia. Halkeilevaisuus siis saa aikaan, että helposti halkeava puu vetäytyy suuremmassa määrin kieroon kuin vaikeasti halkeileva.

Tälläkin seikalla on käytännöllinen merkityksensä. Jos esim. lattialankkuja asetetaan paikalleen, niin on niissä aina ytimen puoli asetettava alaspäin. Alaspäin jäänyt osa lankusta tulee nim. säilytettäväksi kosteammassa paikassa kuin lankun ylöspäin oleva osa, joten siinä kutistuminen käy pienemmäksi ja halkeamia pääsee vähemmän syntymään.

Puun kieroon vetäytyminen riippuu myös hyvin paljon siitä, kuinka puu kuivataan. Jos aivan tuore puu esim. keinotekoisesti kuivataan hyvin nopeasti, niin kutistuvat sen pintaosat, joista kosteus on ennättänyt haihtua pois, paljon nopeammin kuin sisäosat, joista kosteus ei pääse haihtumaan. Tällä tavalla joutuvat pintaosat sisäosien puristuksen alaiseksi, joka puristus on siksi suuri, että puu heikoimmilta kohdiltaan halkeaa. Tällä tavalla syntyy sangen suuria halkeamia puuhun ja on tällaisilla äkkinäisen kuivauksen aikaansaamilla halkeamilla se ominaisuus, että ne eivät esim. puuta uudestaan kostutettaessa tahdo mennä umpeen. Jos puu sitävastoin kuivataan hitaasti, niin ei tällaista sisäosien puristusta synny ja päästään paljon pienemmillä halkeamilla ja myöskin paljon pienemmällä kieroonvetäytymisellä.

Yleisinä sääntöinä puun kieroonvetäytymisestä voidaan edellisen perusteella sanoa seuraavaa.

Kaikkein vähimmän vetäytyvät kieroon sellaiset puulajit, joilla on hyvä ulkomuoto ja säännöllinen latvus.

Jos on kysymys samasta puulajista, niin vetäytyy siinä kaikkein vähimmän kieroon rungon oksaton osa, sen jälkeen latvukseen kuuluva rungon osa ja lopuksi kaikkein enimmän vetäytyvät kieroon oksat.

Erikoisen paljon vetäytyvät kieroon sellaiset puut, joiden kasvu jo muutenkin on kiero. Haaralatvaiset havupuut, runsasoksaiset havupuut j.n.e. ovat kaikki kieroutuvaa puuta.

Ytimen asema puussa osottaa myös jossain määrin puun kieroon vetäytymistä. Jos lankku tai lauta on sahattu kau'empaa ytimestä, niin kutistuu sen ulkosyrjä enemmän sentähden, että se on tangentin suuntainen, jotavastoin kutistuminen sisäpuolelta on pienempi sentähden, että sisäleikkaus jää säteensuuntaiseksi. Tästä syystä ovat esim. EKMAN'in kuvista pari tätä asiaa esittävää kuvaa vääriä sentähden, että niissä on kuvattu kutistuminen päinvastaiseksi. Kuva 108 a on niinmuodoin väärä, jotavastoin kuv. 108 b on oikea.

Jos halutaan puutavaraa, joka ei kutistu, on sitä tekijän havaintojen mukaan valmistettava säteensuuntaisen sahauksen kautta. Tällainen säteensuuntainen sahaus on muutenkin edullinen siellä, missä vain sen kautta voidaan saavuttaa tarpeeksi suuria dimensiooneja. Jo Keski-Euroopan tammet, pyökit ja hopeakuuset ovat siksi suuria, että niitä voidaan radiaalisesti sahata, puhumattakaan esim. Amerikan suurista puista. Tällainen radiaalisesti sahattu tavara vetäytyy kaikkein vähimmän kieroon. Se sopii siis erinomaisesti esim. lattialankuiksi, ovienkehyksiksi, kaikenlaisiksi listoiksi j.n.e. Sillä on sitäpaitsi suurin lujuus kulumista vastaan.

Meillä käytetään tekijän mielestä yleensä aivan liian vähän radiaalista sahausta. Meidän puumme ovat tosin siksi pieniä, ettei niiden sahaaminen radiaalisesti ole mahdollista tavallisten sahatavaramittojen hankkimista varten. Mutta sitävastoin voitaisiin esim. katto- ja seinäpaneelia, listoja, akkunan- ja ovenkehyksiä sahata meillä tällä tavalla.

Myös huonekaluteollisuudessa on kieroon vetäytyminen haitallinen ilmiö. Se puutavara, mikä huonekaluteollisuudessa käytetään, saa hyvin suureksi osaksi olla pienimittaista, joten huonekalupuu voitaisiin aina valmistaa radiaalisahauksen kautta. Näin ei kuitenkaan meillä ole tehty, sillä valitettavasti kyllä meillä huonekaluteollisuuteen käytetty puuaine on suurimmaksi osaksi pintalautaa l. siis tangentin suuntaan sahattua puuta.

Hyvin alttiita kieroilemiselle ovat edelleen sen tapainen puutavara kuin sukset, reenjalakset ja erinäisissä tapauksissa myös aisat. Kaikki tällainen puutavara on myöskin mikäli mahdollista hankittava radiaalisahauksen kautta. Jos esim. tahtoo valita itselleen hyvät sukset, niin on aina katsottava, että suksipuu on leikattu säteen suuntaan.

Muita teollisuuden haaroja, joissa edelleen tarvitaan radiaalisesti sahattua puuta ja joissa käytetty puuaine ei saa vetäytyä kieroon, on rautatievaunuteollisuus ja lentokoneteollisuus.

Mutta faneeriteollisuus on kuitenkin, vaikka se käyttääkin juuri tangentin suuntaista puuta, merkillistä kyllä, se teollisuuden haara, joka kykenee valmistamaan kaikkein vähimmän kieroonvetäytyvää puuta.

Käytettyä kirjallisuutta:

BETTS, H. S.: The Seasoning of Wood. United States Department of Agriculture. Bull. 552.

BÜSGEN, M.: Studien über dem Wassergehalt einiger Baumstämme. (Zeitschrift für Forst- und Jagwesen) 1911.

BÖHMERLE, E.: Beitrag zum Schwinden des Holzes. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen.) 1877.

CHEVANDIER, E.: Moniteur industriel. 1846. N:o 1045. (Dingler. Band 102. 1846.)

— Note sur les quantités d'éau hygrométrique contenues dans les bois de feu. Pres. à l'Acad. d. Sc. l. 1. juin 1846.

DU MONCEAU, DUHAMEL: Du Transport et de la Conservation des bois. 1738.

ENEROTH, O.: Vedens tyngd, vattenhalt, krympning och svällning, torkning och vattenupptagning. (Handbok i Skogsteknologi.) Stockholm 1922.

FERNOW, B. E.: The timber Pines of the Southern U. S. Washington 1897.

FLURY, PHILIP: Untersuchungen über das Schwindmass des Stammholzes bei Winter- und Sommerfällung. Mitteilungen der Schweizerischen Centralanstalt für das forstliche Versuchswesen XI, Band, 3. Heft 1921.

FOREST SERVICE CIRCULAR, N:o 103, Seasoning of Telephone and Telegraph Poles.

— N:o 136, The Seasoning and Preservative Treatment of Arbor-vitae Poles.

— N:o 146. Experiment with Railway Cross-ties.

— N:o 151. The Preservative Treatment of Loblolly Pine Cross-arms.

HAMPEL, L.: Das Wasseraufsäügungsvermögen einiger Holzarten. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen.) 1881.

HARTIG, R.: Das spezifische Frisch- und Trockengewicht, der Wassergehalt und das Schwinden des Kiefernholzes. Berlin 1874.

HELANDER, A. BENJ.: Metsänkäyttö-oppi. Porvoo 1922.

HESS, R.: Untersuchungen über die Schwindungsverhältnisse einiger Holzarten. (Forstliche Blätter. 1887.)

HILDEBRAND, R.: Ueber den Einfluss der Feuchtigkeit auf der Längenzustand von Hölzer. (Annalen der Physik und Chemie, Band XXXIV, Heft 2. Leipzig 1888.)

HUMPHREY, C. J.: Timber Storage Conditions in the Eastern and Southern States with Reference to Decay Problems. United States Department of Agriculture. Bull. 510.

JANKA, G.: Die Einwirkung von Süss- und Salzwässern auf die gewerblichen Eigenschaften der Hauptholzarten. (Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Oesterreichs. XXXIII. Heft. 1907.)

KEMPFER, W. H.: The Air Seasoning of Timber. American Railway Engineering Association. Bull. 161.
NÖRDLINGER, H.: Das Schwinden des Holzes. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen.) 1875.
— Schwindet Hartholz stärker oder Weichholz? (Kritische Blätter für Forst- und Jagdwissenschaft.) 49 Band, 1 Heft. 1866.
— Trockenrisse (falsche Frostrisse) an der Fichte. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen.) 1878.
RUMFORD: Recherches sur les bois et le charbon. Paris 1812.
STABY, LUDWIG: Ueber Quellung des Holzes. (Forstwissenschaftliches Centralblatt. 1888.)
THELEN, ROLF: Kiln Drying Handbook. United States Department of Agriculture. Bull. 1136.
WIMMENAUER: Aufbewahrung von Fichtenstammholz in Wasser. (Allgemeine Forst- und Jagdzeitung.) 1878.

C. Puun lujuusominaisuudet.

Lujuudella ymmärretään yleensä aineen ominaisuutta vastustaa voimaa, joka yrittää erottaa aineen eri osia toisistaan. Tekniikassa esiintyvien tarveaineiden lujuutta tutkitaan aineenkoetuslaitoksissa. Sellaisten aineiden kuin esim. raudan ja jopa betoninkin lujuusominaisuudet voidaan määritellä niin tarkoin, että ne useimmille käytännössä esiintyville laaduille saadaan keskimääräisesti määrätyiksi. Sitävastoin on puun rakenne siksi vaihtelevaa, että yleispätevien numeroiden aikaansaaminen tällä alalla on hyvin vaikeata. Aikaisemmat tutkimukset puiden lujuusominaisuuksista tehtiin yleensä käyttämällä pieniä särmiöntai lieriönmuotoisia koekappaleita, joiden laatu oli kauttaaltaan mahdollisimman samanlainen. Tällä tavalla saatiin lukuja, jotka osottivat mahdollisimman homogeenisen puuaineen ominaisuuksia. Mutta toiselta puolelta eivät tällaiset luvut pitäneet paikkaansa silloin kuin oli kysymys suuremmista puukappaleista, jollaisia kuitenkin aina tekniikassa esiintyy.

Tällaiset kokeet eivät kuitenkaan jääneet merkityksettömiksi. Niiden kautta voitiin selvitellä useita tärkeitä asioita, joista mainittakoon seuraavat: lujuuden ja painon suhde toisiinsa, lujuuden ja kosteuden suhde toisiinsa, eri puunosien lujuussuhteet: esim. lujuuden vaihtelu puun eri osissa, sydänpuun ja pintapuun lujuussuhteet, vuosirenkaan leveyden vaikutus lujuuteen, kevätpuun ja kesäpuun vaikutus lujuussuhteisiin sekä osaksi myös sentapaisia seikkoja kuin esim. verrannollisten lukujen määrääminen eri puulajien lujuussuhteille y.m.

Täten päästiin jo siis tuloksiin, joista oli paljon ohjausta puuta käytettäessä teknillisiin tarkoituksiin.

Mutta muitakin etuja näistä vanhemmista tutkimuksista oli. Niiden kautta saatiin jonkunmoinen likimääräinen käsitys puun lujuusominaisuuksista ja niiden tutkimuksen kautta keksittiin koneita sekä kehitettiin menettelytapoja, joilla vielä tätä nykyäkin on merkityksensä puiden lujuusominaisuuksia tutkittaessa.

Vasta aivan lähiaikoina, l. tarkemmin sanoen 1800-luvun loppupuolella, alettiin tutkia suurempia puukappaleita, ja uuden vauhdin saivat tutkimukset oikeastaan 1900-luvun alkuvaiheilla, jolloin ameriikalaiset koelaitokset alkoivat tutkia sen kokoisia puukappaleita, joita käytännössä esiintyy. Ameriikalaiset tutkimukset eivät käsitä ainoastaan rakennushirsien, parrujen, pelkkojen, vasojen, lautojen ja lankkujen lujuustutkimuksia, vaan on myös tutkittu erilaisten käytännössä esiintyvien puukonstruktioiden, kuten esim. kattorakenteiden, tukipylväiden j.n.e. sekä erinäisten puuesineiden, esim. huonekalujen, puulaatikoiden j.n.e. lujuutta. Joka tapauksessa ei tutkimustyö tällä alalla läheskään ole päässyt lopullisiin tuloksiin, mutta senverran voidaan kuitenkin sanoa, että tutkimussuunnitelmat ovat vähitellen jo kristallisoituneet eheään systeemiin, ja alkaa jo vähitellen olla käytettävissä tekniikkaan kelpaavia lukuja puiden lujuusominaisuuksista.

Puun lujuusominaisuuksien systemaatinen tutkimusmenettely sisältää pääasiallisesti seuraavat seikat: 1. puun alkuperän selittämisen, 2. ominaisuuksiin vaikuttavien seikkojen selittämisen, 3. koekappaleiden valitsemisen, 4. kokeiden suorittamisen.

1. Puun alkuperän selittäminen käsittää tarkat ilmoitukset puun kasvupaikan maantieteellisestä asemasta, sen topografiasta, metsikon laadusta, puun asemasta metsikossa sekä puun harvennusluokasta, puun ijän, puun kaatoajan, kaatoajan ilmastolliset suhteet, puun käsittelyn kaadon jälkeen, puun kuivauksen ja varastoimisen sekä koekappaleen aseman rungolla.

2. Ominaisuuksiin vaikuttavat seikat ovat m.m. koekappaleen koko, oksien suuruus, oksien asema, sydänpuun ja pintapuun määrä ja asema, puun ominaispaino ja vesipitoisuus, vuosilustojen muoto, vuosilustojen lukumäärä, vuosilustojen leveys ja vuosilustojen syyspuu-%.

Tällaiset selvittelyt voivat olla hyvinkin monimutkaisia ja esim. rakennushirsien ja sahatavaran suhteen ne johtavat koekappaleiden tarkkaan luokitteluun. Niinpä esim. vuosilustojen lukumäärä sm. tai tuumaa kohti osottaa vuosilustojen keskimääräistä leveyttä ja esim. tiiviillä puulla tulee olla ainakin 9 vuosilustoa 2 ½ sm. kohti sekä vuosilustosta 30 % kesäpuuta.

Oksat esim. jaetaan 3 luokkaan, nim. 1. sellaisiin oksiin, jotka ovat eheitä ja lujasti kiinni puussa ja jotka eivät aiheuta huomattavaa epäsäännöllisyyttä vuosilustojen suunnassa, ja 2. oksiin, jotka ovat eheät ja kiinteästi yhdistetyt puuhun, mutta muuttavat kuitenkin huomattavasti vuosilustojen suuntaa, 3. oksiin, jotka ovat kovia, mutta irtaantu-

vat helposti puusta ja 4. oksiin, jotka ovat ympäröivää puuta pehmeämmät. Sitäpaitsi mitataan oksien läpimitta ja otetaan myös se huomioon puita luokiteltaessa.

Tämän lisäksi otetaan huomioon halkeamat, sinistyminen, lahoviat j.n.e.

Yllä olevasta selviää, että koekappaleiden suhteen suoritetaan tarkka lajittelu samaan tapaan kuin sahatavaraa yleensä lajiteltaessa, kuitenkin sillä erotuksella, että lajittelu tulee olemaan paljon yksityiskohtaisempaa.

Kun tällainen tarkka lajittelu otetaan huomioon, niin voidaan jo määritellä paljon tarkempia rajoja puiden lujuusominaisuuksille ja näillä rajoilla tulee olemaan myös käytännöllinen merkitys, sillä niiden perustuksella voidaan aina kuhunkin tarkoitukseen valita lujuussuhteittensa mukaan soveltuvaa puutavaraa.

3. Koekappaleiden valitseminen tapahtuu edellä mainittujen selitysten perusteella. Ne puut, jotka koepuiksi kaadetaan, ovat siis valittavat siten kuin edellä olevat määrittelyt edellyttävät, eikä siis koelankkuja, esim. valita jostain lautatarhasta ilman, että niiden suhteen tarkoin tunnetaan niiden kasvupaikka ja käsittely. Kun koepuut ovat kaadetut, käsitellään ne kukin edeltäpäin määrätyllä tavallaan sekä sahauksessa, veistossa j.n.e. noudatetaan määrättyjä edeltäkäsin sovittuja menettelytapoja.

Näin menetellään silloin, kun tutkitaan eri lajitteluluokkien lujuusominaisuuksia. Jos sitävastoin on otettava selville ainoastaan keskimääräisiä ominaisuuksia, niin silloin tyydytään pienempiin kappaleisiin ja on niiden suhteen sovittu siten, että esim. taivutuskokeita varten otetaan koekappaleet vähintäin 7 m ja enintäin 10 m korkeudelta maasta. Ja jos keskimäärin halutaan tutkia esim. isompien lankkujen tai pelkkojen taivutuslujuutta, niin otetaan koekappaleet puun keskeltä. Jos taas tutkitaan eri puunosien lujuutta, niin otetaan alimmainen leikkaus tavallisesti rinnankorkeudelta ja seuraava leikkaus 6 m korkeudelta. Sitäpaitsi on sovittu siitä, että, jos esim. on tutkittava jonkun metsikon puiden lujuusominaisuuksia, niin on tällöin tutkittava vähintäin 3 puuta metsikosta.

4. Kokeiden suorittaminen tapahtuu erikoisesti tätä varten laadituilla koneilla. Näistä mainittakoon m.m. Werder'in kone, joka on konstruoitu jo 1880-luvulla. Tätä ovat m.m. käyttäneet Bauschinger, Tetmajer, Jenny ja Rudeloff. Schwappach on tehnyt tutkimuksensa von Pohlmeyer'in keksimällä koneella ja Hadek ja Janka Amsler-Laffon'in keksimällä koneella. Nämä ovatkin tavallisimmat näihin tar-

koituksiin käytetyt koneet ja nousee niiden kehittämä paino 150—500 tonniin. Ameriikalaisissa kokeissa on käytetty paljon voimakkaampia koneita ollen niiden kehittämä voima aina 12,000 tonnia, jopa 100,000 ja ylikin. Kaikki lujuusominaisuudet mitataan kilogrammoissa pinta-alayksikköä kohti, jona tavallisesti Europassa on käytetty sm^2.

Puun, niinkuin muidenkin aineiden lujuus, on käsite, jota ei voida lausua yhdellä luvulla. Sen mukaan, missä suunnassa voima puukappaleeseen vaikuttaa tai mihin osaan puukappaletta se vaikuttaa tai miten puukappale on tuettu ja vieläpä sen mukaan, minkä muotoinen puukappale on, voidaan sen lujuusominaisuuksia käsitellä eri tavoilla. Tämän mukaan puhutaankin seuraavista lajeista lujuutta.

1. Vetolujuus (absoluuttinen lujuus), 2. puristuslujuus (negatiivinen lujuus), 3. taivutuslujuus (relatiivinen lujuus), 4. työntölujuus l. leikkauslujuus, 5. nurjahduslujuus ja 6. vääntölujuus (torsionilujuus), 7. kovuus ja 8. halkeilevaisuus.

1. Vetolujuus.

Vetolujuutta tutkittiin ennenaikaan käyttämällä poikkileikkaukseltaan lieriömäisiä koekappaleita, joiden kumpaankin päähän oli jätetty kiinnittämistä varten paksumpi osa. Tällaiset koekappaleet ovat joutuneet pois käytännöstä sen jälkeen kuin poimulevyjä on ruvettu käyttämään. Senvuoksi, että ennen aikaan täytyi käyttää tämänmuotoisia koekappaleita, oli kokeiden suorittaminen isoilla puilla sangen hankalaa, joten vetolujuuskokeet käsittivät yleensä sangen pieniä koekappaleita. Kun myöhemmin on voitu käyttää poimulevyjä, on myös vetolujuuskokeisiin voitu ruveta käyttämään sellaisia puutavaralaatuja, jotka käytännössä esiintyvät.

Kun yleensä puun vetolujuudesta puhutaan, niin ajatellaan aina puuta venytettävän sen pituusakselin l. puusyiden suuntaan. Sellaisiin tarkoituksiin, joissa suurta vetolujuutta tarvitaan, niinkuin esim. silta- ja kattotuolirakenteihin, puisiin riippusiltoihin j.n.e. on siis aina käytettävä suorasyistä, oksatonta ja virheetöntä puuta.

Ne numerot, joita yleensä puutavaran lujuudesta esiintyy, ovat laaditut lähinnä huonekuivan puun (10—12 % vettä) perusteella ja koska kosteus yleensä vaikuttaa vähentävästi lujuusominaisuuksiin, niin on näitä numeroita vähennettävä siinä tapauksessa, että puutavaraa käytetään ulkoilmassa, puhumattakaan puutavaran käytöstä kaivoksissa, kellareissa y.m. sentapaisissa paikoissa.

Kaikkein suurin vetolujuus on tavallisimmista puulajeista tammipuulla, jonka vetolujuus on noin 1,100 kg sm² kohti. Yhtä suuri ja eräiden tutkijoiden mukaan vielä suurempikin on pyökin ja koivun vetolujuus. Männyn vetolujuus on noin 1,000, kuusen noin 700, haavan noin 900, ja lepän jokseenkin sama kuin haavan. Koska nämä luvut ovat eri tutkijoiden tuloksista otettuja keskimääriä, antavat ne jokseenkin luotettavan verrannollisen käsityksen eri puulajien lujuusominaisuuksista.

Nämä luvut eivät kuitenkaan siis merkitse samaa kuin sallittu jännitys. Puuaineen käytännölliset sallitut jännitykset ovat tavallisesti ainoastaan $^1/_{10}$ näistä. Tällöin on kuitenkin kysymyksessä hyvin keskimääräinen luku ja yleensä voidaan sanoa, että puukonstruksioihin varovaisuuden vuoksi käytetään hyvin paljon raaka-ainetta.

Vertauksen vuoksi mainittakoon, että esim. valuraudan vetolujuus on 1,200—2,400 ja takoraudan 3,300—4,000 ja valuteräksen lujuus 4,500—10,000 l. siis huomattavasti suurempi kuin minkään puun. Huomattavasti suuremmat ovat myös näiden sallitut jännitykset s.o. vähintäin kymmenkertaiset kuin puun.

Mutta vetolujuutta arvosteltaessa on otettava muitakin seikkoja huomioon. Näistä on erittäin tärkeinä mainittava paino ja hinta. Puu on huomattavasti keveämpää kuin rauta ja tästä syystä ovat myöskin puuaineesta tehdyt rakennuskonstruktiot keveitä. Edelleen on puu paljon helppohintaisempaa, joten lopulliseksi käytännölliseksi johtopäätökseksi tulee se, että puun vetolujuutta on tekniikassa edullista käyttää hyväkseen.[1]) Sitä käytetäänkin hyväkseen n.k. hallikattojen rakentamisessa, jollaiseen tarkoitukseen sitä ruvettiin käyttämään etenkin viimeisen maailmansodan aikana. Varsinkin ilmailuhallien rakentaminen antoi tuntuvan sysäyksen puun käyttämiselle erinäisiin konstruktiotehtäviin.

Tämä on käynyt mahdolliseksi poimulevyjen ja poimurenkaiden kautta sekä osaksi myös sen kautta, että puuta on opittu erikoisella tavalla konstruktiotehtäviä varten liimaamaan.

Puun vetolujuus on siis saavuttanut viime aikoina paljon suuremman merkityksen kuin ennen ja tästä syystä se onkin joutunut tutkimusten alaiseksi. Tarkoin lajittelemalla tutkittava puuaine, voidaan päästä mitä käytännöllisimpiin luokitteluihin ja tällä tavalla voidaan konstruktioihin käytettävää puuainetta yhä enemmän säästää ja toiselta puolelta saada aikaan keveitä, perustusta vähän rasittavia, konstruktioita.

[1]) Kun paino otetaan huomioon, on puu erinäisissä tapauksissa lujempaa kuin teräs.

Varsinkin sellaisissa rakennuksissa, joissa seinätkin ovat keveät, niinkuin puurakennuksissa yleensä, ja sahalaitosrakennuksissa erittäinkin, on sillä seikalla, että puun vetolujuutta voidaan tehokkaasti käyttää hyväkseen, suuri merkitys.

Edelleen on todettu, että kosteus vähentää puun vetolujuutta. Tämä seikka tietää sitä, ettei puiden vetolujuutta voida käyttää hyväkseen muualla kuin siellä, missä puu voidaan säilyttää kuivana. Puun kuivana pysymistä voidaan suuresti edistää sivelemällä puun pinta jollain vettä läpilaskemattomalla aineella, mutta sitävastoin ei puun impregnoiminen edistä, vaan päinvastoin vähentää sen vetolujuutta.

Kuten edellä mainittiin, kuuluu oikeastaan jo vetolujuuden käsitteeseen että veto tapahtuu puun syiden suuntaan. Ne numerot, jotka yllä on esitetty edellyttävätkin tämän seikan, ja puun vetolujuus vähenee huomattavasti, jos veto tapahtuu vähänkin vinoon puusyiden suuntaa vastaan. Jos veto tapahtuu kohtisuoraan puusyiden suuntaa vastaan, niin silloin on vetolujuus milt'ei $=0$.

2. Puristuslujuus.

Puristuslujuus tulee kysymykseen joko sellaisessa tapauksessa, jossa kappaleen pituus on korkeintaan 5 kertaa sen läpimitta tai jossa kappale on asetettu siten, että sen taipuminen on estetty. Itse asiassa on siis käytännössä verrattain vähän sellaisia tapauksia, joissa puristuslujuus puun syiden suuntaan aivan suoranaisesti tulee kysymykseen. Näistä mainittakoon m.m. seuraavat: peruspaalutukset, joissa puut paalutetaan toisiinsa kiinni, katukivitys, reen ketarat, varsinkin suomalaisissa tukkireissä, sisälattian kannakkeet, joskus pyöränpuolat, ja muutamissa tapauksissa rakennusten perustana kivijalan asemasta käytetyt puupylväät. Näissä tulee kysymys puristuslujuudesta jokseenkin puhtaassa muodossa, vähemmän puhtaassa muodossa kysytään puristus lujuutta kaikissa lyhyissä pylväissä, kuten oven ja akkunan pielissä, pöydän ja tuolin jaloissa j.n.e. Puun syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa on puristuslujuus yleisin, esim. rakennushirret.

Joka tapauksessa on puristuslujuudella sen puhtaasti tieteellisessä merkityksessä sangen vähän käytännöllistä arvoa senvuoksi, että esim. rakennusseinän paksuuden määräävät muut seikat kuin lujuus, mutta sen tutkimuksella on tärkeä teoreettinen puolensa sen kautta, että puristuslujuuskokeet ovat sangen helppoja tehdä, ja senkautta että niiden avulla voidaan jossain määrin arvostella puun taivutuslujuutta, jonka kokeellinen tutkiminen on verrattain vaikeata.

Kuten jo yllä on mainittu, voidaan puristuslujuudesta sanan varsinaisessa merkityksessä puhua ainoastaan silloin kuin kappaleen korkeus ja pituus ovat yhtä suuret, sillä tällöin ei tarvitse ottaa huomioon kappaleen taipumista. Jos kappaleen korkeus on pienempi kuin sen läpimitta, suurenee kappaleen puristuslujuus huomattavasti niin, että jos korkeus esim. on ainoastaan $0.1 \times d$, niin on sen puristuslujuus lähes $^1/_3$ suurempi kuin kuutiomuotoisen kappaleen. Jos sitävastoin kappaleen korkeus on $= 5 \times d$, niin on tällaisen kappaleen puristuslujuus ainoastaan 0.82 sellaisen kappaleen puristuslujuudesta, jonka korkeus on = läpimitta. Luonnollista on myös, että puristuslujuus tulee kysymykseen silloin kuin taipuminen on estetty.

Edelleen voidaan yleisenä puristuslujuuteen vaikuttavana seikkana mainita voiman vaikutussuunta puusyiden suuntaan verrattuna. Puristuslujuus tulee käytännössä useimmiten kysymykseen puun pituusakselia vastaan kohtisuorassa suunnassa. Näin on esim. laita rakennushirsien, jotka aina tällä tavalla painavat toisiaan vastaan. Jos puristus olisi puhtaasti säteensuuntainen, niin olisi se tammella ainoastaan $^1/_3$ ja kuusella ainoastaan $^1/_{10}$ puristuslujuudesta pituusakselin suuntaan. Jos siis puristuslujuutta pidetään silmällä, on aina paras rakentaa rakennus pystyhirsistä. Jos taas ajatellaan esim. hyvin suuria amerikkalaisia puulajeja, joista voidaan ottaa suuria kappaleita mistä osasta puuta tahansa, joten siis rakennushirsi myöskin voidaan asettaa siten, että puristus tapahtuu tangentin suuntaan, niin huomataan, että puu tässä suunnassa on useimmiten lujempaa kuin, jos puristus, kuten edellisessä tapauksessa, olisi säteensuuntainen. Siellä, missä kyljelleen asetetulta puulta vaaditaan suurta lujuutta, on se siis asetettava siten, että puristus tapahtuu tangentin suuntaan.

Puun sisäinen rakenne antaa paljon mahdollisuuksia tehdä johtopäätöksiä sen puristuslujuudesta.

Oli kysymys puristuksesta mihin suuntaan tahansa, niin vähentää oksaisuus aina puristuslujuutta. Tämä on selvä asia, jos ajatellaan esim. että puristus tapahtuu puun pituusakselin suuntaan. Oksat aiheuttavat nim. sen, että vuosilustot jonkun verran kääntyvät ja puristus näillä kohdin tulee kohtaamaan puun syyt joko tangentin tai säteen suunnassa, jossa puristuslujuus, niinkuin jo edellä mainittiin, oli pienempi. Jos puristus sitävastoin tapahtuu säteen suunnassa, ei ole aina sanottua, että puristuslujuus oksaisuuden kautta vähentyy, löytyypä päinvastoin tapauksia, joissa se voi lisääntyäkin. Sellainen tapaus on esim., että oksat ovat tasaisesti puuhun jakaantuneita, samansuuruisia ja terveitä.

Myös tangentinsuuntaisessa puristuksessa voi löytyä tapauksia, jolloin oksainen puu on lujempaa kuin oksaton, mutta yleensä on asian laita näin kuitenkin ainoastaan poikkeustapauksissa, joten yleensä tässäkin oksaton puu on lujempaa kuin oksaton.

Puun suorasyisyys on tähän niinkuin kaikkiin muihinkin lujuuslajeihin nähden suurimerkityksellinen. Ennen aikaan pidettiin kierosyistä puuta puristusta vastaan lujempana kuin suoraan kasvanutta, ja niinpä mainitsee esim. THELAUS tämän suoranaisena sääntönä, mutta uusimmat tutkimukset ovat osottaneet, että asianlaita sittenkin on päinvastainen.

Lylymuodostuman on yleensä myöskin otaksuttu lisäävän puun lujuutta, vieläpä NÖRDLINGER'kin aikoinaan lausui tämän mielipiteen, ja lienee hän sen saanut DUHAMEL DU MONCEAU'lta, joka samoin kuin vanhemmat tutkijat yleensä piti sitä jonkunlaisena selviönä. Uusimmat tutkimukset ja jo aikoinaan JANKA'n tästä asiasta tekemät tutkimukset ovat osottaneet, että asianlaita on päinvastainen ainakin kuuseen nähden niin, että kuusen lylypuu, vaikka se on painoltaan raskaampaa, puristuslujuudeltaan on koko lailla heikompaa kuin normaalinen kuusipuu.

Halkeamat vähentävät luonnollisesti aina puun lujuutta. Kuitenkaan ei voida ilman muuta sanoa, että sellainen puu, jossa on halkeamia, aina olisi heikompaa kuin puu, jossa ei niitä ole. Selvää on, että halkeamat voivat olla puun lujuuden mittana ainoastaan siinä tapauksessa, että verrataan toisiinsa kahta samaan puulajiin kuuluvaa ja jokseenkin samanlaista puukappaletta, sillä esim. mäntykappale, jossa on pieniä halkeamia, voi olla lujempaa kuin visakoivupalanen, jossa ei niitä ole yhtään, ja suorasyisen, helposti halkeavan männyn puristuslujuus on suurempi kuin hienosyisen, kierokasvuisen männyn.

Muut viat, kuten rexigeeniset pihkatiehyeet, lahoviat, kuorelliset oksat, huolemat, laho-oksat, kyljestymät, korot j.n.e., vähentävät luonnollisesti puun puristuslujuutta.

Kaikkien ylläolevien seikkojen vaikutus erikseen on otettava huomioon silloin kuin puun puristuslujuutta kussakin erikoistapauksessa arvostellaan. Kun seuraavassa esitetään puun puristuslujuuden yleisiä lakeja, ja siitä lausutaan käytäntöön soveltuvia numeroita, niin ovat ylläolevat seikat edellytetyt apriorisesti in casu huomioon otettaviksi.

Niistä yleisistä seikoista, jotka vaikuttavat puun puristuslujuuteen, mainittakoon seuraavat: a. puun vesipitoisuus, b. puun asema metsikossa, c. leikkauksen asema puussa, d. maanlaadun vaikutus, e. puun horisontaalinen ja vertikaalinen kasvupaikka, f. ominaispainon vaikutus.

a. Vesipitoisuus. Kaikki vanhemmat tutkimukset, jotka suoritettiin pienillä puukappaleilla, ovat osottaneet, että puun puristuslujuus säilyy jokseenkin muuttumattomana tuoreesta 30 %:in vesipitoisuuteen asti. Kun puun vesipitoisuus tästä alenee noin 20 %:in vesipitoisuuteen, lisääntyy lujuus noin 10—20 %:illa, mutta alkaa sen jälkeen kasvaa erittäin nopeasti, niin, että se absoluuttisesti kuivalla puulla on 3—6 kertaa vastakaadetun puun, ollen lujuuden lisääntyminen 20 %:in ja 0 %:in välillä miltei suoraviivainen graafillisesti esitettynä.

Suurempia puuosia tutkittaessa ei ole päästy näin säännöllisiin tuloksiin. Kun puu menettää kosteutta enemmän kuin 20 %:in vesipitoisuuteen, alkaa se halkeilla ja halkeileminen merkitsee vastapainoa sille lujuuden lisääntymiselle, jonka kuivuminen saa aikaan. Niinpä ovatkin tutkimukset, joita Amerikassa ja Ranskassa on suoritettu tekniikassa käytettävälle puutavaralle, osottaneet, että lujuus ei suurene puun kuivaessa ulkokuivasta alaspäin niin paljon kuin pienellä puutavaralla tehtyjen kokeiden perusteella edellyttäisi.

Jos puu imee itseensä enemmän kosteutta kuin sillä kasvaessaan on, niin ei sen lujuus vähene, vaan päinvastoin jossain määrin kasvaa. Tämän puristuslujuuden lisääntyminen puuta vedellä kyllästettäessä on kuitenkin varsin vähäpätöinen.

Tutkimusten nykyisellä asteella on oikeastaan vaikeata varmuudellisanoa, mitä vesipitoisuus käytännössä puun lujuuteen vaikuttaa. Sellaa siin tarkoituksiin, joissa suuri puristuslujuus tulee kysymykseen, on varminta käyttää halkeilematonta s.t.s. huolellisesti kuivattua puuta, sillä tällöin voidaan myöskin olla varmat siitä, että tällainen puu sietää sitä suuremman rasituksen, mitä kuivemmassa se on ja tällaista puuta voidaan kaikkein suurimmalla varmuudella käyttää niin hyvin kosteassa kuin kuivassa paikassa.

b. Puun asema metsikossa. Sen merkitys voidaan jo tavallaan johtaa siitä, mitä edellä on esitetty. Sellaiset puut, joissa on vähän oksia, tai joiden oksat ovat hentoja, ovat yleensä lujempia kuin suurioksaiset puut. Tästä syystä ovat tiheässä metsikossa kasvaneet puut yleensä lujemmat puristusta vastaan kuin yksinään aukealla kasvaneet puut. Sitävastoin ei voida tehdä sanottavaa eroa vallitsevien ja vallittujen puiden välillä. Bühler'in tutkimusten mukaan olisivat myöskin metsikon vallittujen puuluokkien puristuslujuudet suurempia kuin vallitsevien, joka seikka luonnollisesti johtuu siitä, että vallituissa puissa tavallisesti on hennommat oksat, ja voi asianlaita olla näin luonnon met-

sässä, mutta tästä huolimatta ei voida esim. väittää, että puristuslujuus harvennushakkauksien kautta vähenisi, vaikka vuosilustojen leveys harventaessa suurenee. CIESLAR'in ja JANKA'n tutkimukset kuuselle osottavat, että nopeakasvuisen kuusen puristuslujuus jossain määrin kasvaa vuosilustojen kavetessa, mutta tämä väheneminen ei suinkaan ole missään tapauksessa säännöllinen, sillä aivan hyvin voidaan heidän numeroillaan todistaa päinvastaistakin. JANKA onkin tullut siihen tulokseen, että vuosilustojen leveyttä voidaan pitää puristuslujuuden mittana ainoastaan siinä tapauksessa, että niiden syyspuun %-määrät yleensä ovat samanlaiset. Jos tämä perusehto on vallitsemassa, niin silloin ovat yleensä kapeampilustoiset puut lujempia puristusta vastaan kuin leveämpilustoiset. Amerikalaiset tutkimukset ovat selventäneet tätä asiaa siinä suhteessa, että niiden mukaan ei vuosiluston leveydellä ole sanottavaa merkitystä puun lujuussuhteisiin. Näiden seikkojen valossa huomataan siis, että harvennetuissa metsissä kasvaneiden puiden puristuslujuutta ei, niinkuin yleensä väitetään, voida pitää pienempänä senvuoksi, että harvennetuilla aloilla kasvaneiden puiden vuosilustot ovat leveät. Ainoa seikka, joka mahdollisesti tässä suhteessa on harvennetuille metsille epäedullinen, on vuosilustojen epätasaisuus tai oikeammin se seikka, että harvennetussa metsässä useissa kohdin leveä ja kapea vuosilusto tulevat liittymään toisiinsa, ja tällaiset epätasaisuudet puun kasvussa merkitsevät aina pienempää puristuslujuutta.

c. Leikkauksen asema puussa. Kaikki tutkimukset aina PARENT'in tutkimuksista asti ovat osottaneet, että juurenniskasta otetulla puun osalla on kaikkein suurin puristuslujuus. Tämä seikka on aivan luonnollinen siitä syystä, että se puun kasvaessakin on suurimman puristuksen alainen. Se on ikäänkuin perusta, jolla puu lepää, ja on se näin ollen joutunut muodostumaan sellaiseksi, että juuri se kestää suurinta puristusta. Mitä taas itse oksattomaan rungonosaan tulee, niin sillä noin 1.3 m korkeudelta on jokseenkin muuttumaton puristuslujuus otti koekappaleen miltä korkeudelta tahansa. Mitä taas latvukseen kuuluvaan rungonosaan tulee, niin on sen puristuslujuus luonnollisesti pienempi kuin muun rungon. Rungon eteläpuoli on yleensä sekä JANKA'n että FÖPPEL'in tutkimusten mukaan puristuslujuudeltaan huonompi kuin sen pohjoispuoli. JANKA'n tutkimusten mukaan pitäisi pintapuun olla jonkun verran lujempaa puristusta vastaan kuin sydänpuun ja samaan käsitykseen on myöskin WIJKANDER tullut. Joka tapauksessa osottavat heidänkin tutkimuksensa, että ero on sangen pieni. Amerikalaisista tutkimuksista sitävastoin selviää, ettei sydän- ja pintapuun puris-

tuslujuudella ole juuri mitään eroa ja ett'eivät ainakaan sydän- ja pintapuu-%:it vaikuta sanottavasti lujuuteen.

d. Maanlaadun vaikutusta puristuslujuuteen pienissä koekappaleissa ovat tutkineet milt'ei kaikki tutkijat. Tutkimusten yleisenä puutteena on mainittava se seikka, ettei maanlaatuja ole kyetty määrittelemään siten, että eri tutkijoiden saavuttamia tuloksia kävisi mahdolliseksi verrata toisiinsa. Nördlinger määritteli oikeastaan maanlaadun ehkä parhaiten, kun hän sen mitaksi otti vuosilustojen leveyden kantoleikkauksessa, sillä samalle puulajille, joka on esiintynyt verrattain rajoitetulla alueella, se ehdottomasti onkin varsin luotettava maan hyvyyden mitta. Mutta toiselta puolen voivat varjossa kasvaneet puut olla kapeavuosirenkaisia hyvälläkin maalla, ja Nördlinger'in tutkimuksista puuttuu vertauksia esim. kapealustoisen hyvällä maalla ja kapealustoisen huonolla maalla kasvaneen puun lujuussuhteista. Chevandier'in ja Wertheim'in tutkimuksissa on taas maanlaatu määritelty sen kemiallisen kokoomuksen perusteella, ja tässä suhteessa on myöskin osuttu koko oikeaan, sillä osa heidän tutkimusalueistaan oli kalkkimaata ja osa hiekkamaata. Uudemmissa tutkimuksissa taas on käytetty erilaisia boniteeteja, joiden vertaileminen toisiinsa on mahdoton, sillä esim. paras boniteeti Itävallassa ja paras boniteeti Sveitsissä eivät suinkaan käsitä samanarvoista maata.

Jos jokaista tällaista laajempaa tutkimusta tarkastetaan erikseen, niin näyttää siltä kuin aina parempi boniteeti merkitsisi myös suurempaa puun lujuutta, ja tämän seikan onkin yleensä esim. Mayr ottanut säännöksi. Aivan ilmeisesti selvää ei asia kuitenkaan ole, sillä esim. Cieslar'in ja Janka'n tutkimukset osottavat tässä suhteessa hyvinkin suuria epätasaisuuksia. Milloin on hyvällä maalla kasvaneen puun puristuslujuus hyvinkin pieni, jotavastoin huonolla maalla kasvaneissa puissa tavataan erittäinkin suuria lujuusnumeroita, milloin taas on asianlaita päinvastainen.

Jos tahdotaan lausua jonkunmoinen varma johtopäätös maaperän vaikutuksesta puun puristuslujuuteen, niin voitanee tekijän mielestä korkeintaan sanoa, että vallitsevat puut, joilla on säännöllinen runko ja jotka ovat kasvaneet säännöllisissä olosuhteissa, antavat jokseenkin varmasti paremmalla maalla puristuslujuudeltaan parempaa puuta kuin huonommalla. Tämä seikka on muuten mielenkiintoinen senvuoksi, että se ei pidä yhtä puun ominaispainoa koskevien lakien kanssa. Niinkuin muistetaan, oli puu yleensä erikoisen hyvillä

mailla keveää. Niinpä esim. CIESLAR'in ja JANKA'n tutkimuksista selviää, että puristuslujuuden ollessa 300 kg sm² kohti ominaispaino voi vaihdella 33.9—42.0. Tämä osottaa siis muuten selvästi, että puristuslujuus ei maaperän suhteen seuraa samoja lakeja kuin ominaispaino.

e. Vertikaalinen ja horisontaalinen levenemi-nen voidaan lujuussuhteita käsiteltäessä yhdistää. Jos on kysymys samasta puulajista, niin on se yleensä lujinta sillä korkeudella, missä se muodostaa kauniimman ja säännöllisimmän rungon. Tämä seikka pitää paikkansa myös puristuslujuuteen nähden, kuitenkin sillä erotuksella, että yleensä rungon alimmat osat ovat siirryttäessä vuoristossa ylöspäin paljon lujempia kuin mitä rungon muiden osien perusteella voisi otaksua. Tämä riippuu siitä, että rungon alimmat osat vuoristossa ovat suuremman rasituksen alaisina kuin esim. laaksoissa ja rinteillä.

Jos on kysymys horisontaalisesta levenemisestä, niin pitää oikeastaan sama seikka paikkansa, kuitenkin niin, että sana paras runkomuoto on korvattava sanalla optimum. Oikeastaan lujuudesta puhuttaessa optimum merkitsee jokseenkin samaa kuin ominaispainosta puhuttaessakin, mutta puristuslujuuteen nähden on tässäkin tehtävä pieni poikkeus. Puristuslujuus on oikeastaan suurin siellä, missä puu saavuttaa suurimman kuutiomääränsä hehtaaria kohti kullakin boniteetilla. Tämä ei siis aina merkitse sitä, että puun tarvitsisi olla alalla luonnollisesti uudistuva, joten ei jyrkästi ole kysymys puulajin puhtaasti luonnontieteellisestä optimumista. MAYR'in mukaan seuraa puristuslujuus muuten samaa lakia kuin painokin, nim. vähenee optimumista sekä ylös että alaspäin.

f. Painon vaikutus puristuslujuuteen on kuten jo edellä osaksi on selvinnyt, verrattain epäselvä. Jos on kysymys samasta puulajista, niin voidaan aivan yleisenä sääntönä mainita, että koko rungon keskimääräinen puristuslujuus lisääntyy ominaispainon lisääntyessä. Tämä lisääntyminen ei kuitenkaan ole mitenkään säännöllinen. Jos esim. suorakulmaisessa koordinaatistossa abscissat esittävät ominaispainoja ja ordinaatat puristuslujuuksia, niin eivät koordinaatistoon sijoitetut pisteet muodosta mitään säännöllistä käyrää, vaan ryhmän pisteitä, jossa korkeimpia ominaispainoja vastaa korkeimmat puristuslujuusarvot. Voidaan siis puhua korkeintaan suuremmasta tai pienemmästä positiivisesta korrelatiosta, puristuslujuuden ja ominaispainon kesken.

Jos sitävastoin on kysymys eri puulajeista, niin ei ominaispainon perusteella yleensä voida päätellä paljoakaan niiden puristuslujuudesta. Tähän asti tehdyistä tutkimuksista voidaan ainoastaan todeta, että yleensä havupuiden puristuslujuus on suurempi kuin sellaisten lehtipui-

den, joilla on sama ominaispaino ja että suhteessa ominaispainoon on keveillä puulajeilla ainakin yhtä suuri puristuslujuus kuin raskaillakin. Jos nim. puristuslujuutta kuvaava luku jaetaan satakertaisella ominaispainolla, saadaan jokseenkin konstantti luku, joka JANKA'n mukaan suurena keskimääränä on 7.75. Tämä luku oli JANKA'n tutkimusten mukaan 10:lle keveimmälle puulajille 7.85 ja 16 raskaammalle puulajille 7.64.

3. Taivutuslujuus.

Taivutuslujuutta voidaan pitää yhdistettynä puristus- ja vetolujuudesta. Taivuttaessa keskeltä alaspäin, venyy puukappale alapuoleltaan ja kutistuu yläpuoleltaan. Jossain kohdassa puussa täytyy siis löytyä sellainen kerros, joka ei veny, eikä kutistu ja tätä kerrosta kutsuttiin alkuaan neutraaliseksi akseliksi. Jos asiaa ajattelee fysikaalisesti, niin luulisi neutraalisen akselin kulkevan tarkkaan jokaisen puun pituusakselia vastaan kohtisuoran leikkauksen painopisteitten lävitse. Näin otaksuttiinkin ennen aikaan olevan asian laidan. On mielenkiintoista tietää senvuoksi, että DUHAMEL DU MONCEAU oli ensimmäinen, joka havaitsi, että näin ei ole asianlaita, vaan että n.k. neutraalinen taso sijaitsee paljon alempana kuin sen fysikaalisesti pitäisi sijaita.

Kun nyt kerran keskeltä alaspäin taivutettu kappale yläpinnassaan puristuu kokoon ja alapinnassaan venyy ja niinkuin edellä on huomattu, puristuslujuus on pienempi kuin vetolujuus, niin pitäisi kappaleen luonnollisesti ensin katketa yläpuoleltaan ja sitten vasta alapuoleltaan.

Mutta kaikissa taivutuskokeissaan huomasi DUHAMEL DU MONCEAU ihmeekseen, että asianlaita oli päinvastainen. Kappale murtui aina ensin alapuoleltaan. Tämä seikka antoi DUHAMEL DU MONCEAU'lle paljon päänvaivaa. Ja oikeastaan sattuma ilmaisi hänelle totuuden. Kaataessaan puita metsästä tavalliseen tapaan siten, että kirveellä ensin tehtiin kolo toiselle puolelle ja sen jälkeen puuta toiselta puolelta tarpeeksi sahattiin, siis niinkuin meilläkin, niin huomasi hän haapapuussa, kuinka sillä kohtaa, joka jäi sahatun ja veistetyn puun väliin, sahatulla puolella aina oli ensiksi äkkiä katkenneita syitä ja näiden takana pienempi määrä epätasaisesti ja repäisemällä katkenneita syitä.

Säännöllisesti huomasi DUHAMEL DU MONCEAU, että äkkiä katkenneiden syiden määrä oli suurempi kuin repäisemällä katkottujen, ja tämä seikka sai hänet epäilemään ennen selvänä totuutena pidettyä seikkaa, nim. että neutraalinen akseli sijaitsisi kappaleen keskellä.

Tämän jälkeen alkoi DU MONCEAU tehdä kokeita siten, että hän katkaisi sahalla koekappaleensa keskeltä $^1/_3$, $^1/_2$ ja $^3/_4$ syvyyteen sekä täytti täten syntyneen sahanraon pienellä puupalasella. Tällöin osottautui, että kaikkein suurin taivutuslujuus oli $^1/_2$ sahatulla puulla ja että esim. $^3/_4$ sahattu puu oli lujempaa taivutukselle kuin $^1/_3$ sahattu. Näiden kokeiden perusteella tuli DUHAMEL DU MONCEAU siihen käsitykseen, että neutraalinen akseli ei hänen koekappaleillansa ollut edes vielä $^3/_4$ kohdalla.

Se, että puu tällä tavalla katkeaa venytetyltä puolelta, riippuu siis siitä, että puun neutraalinen akseli on sangen lähellä sen alalaitaa, joten siis se osa, jossa vetolujuus tulee kysymykseen, on paljon kapeampi kuin se osa, jossa rasitus tapahtuu puristamalla. Tähän seikkaan perustuu m.m. eräs sangen tärkeä rakennusteknillinen konstruktio. Jos tahdotaan käyttää yhden ison palkin asemasta useita toisiinsa yhdistettyjä pienempiä ja saavuttaa kuitenkin mahdollisimman pienellä materiaalimäärällä mahdollisimman suuri taivutuslujuus, niin käytetään n.k. armeerattuja palkkeja, ransk. *barreaux armes* l. *barreaux d'assemblage*, joissa 2 palkkia on neutraalisen tason suuntaisella hammastuksella yhdistetty toisiinsa. Niiden lujuus on yhtä suuri kuin yhdestä puusta tehtyjen, mutta tulevat ne paljon halvemmiksi. Nämä ovat DUHAMEL DU MONCEAU'n keksimät, joka seikka osottaa, että tämä metsäteknologian suurmies taitavasti osasi myös sovelluttaa teorian käytäntöön.

Huolimatta siitä, että puun neutraalinen akseli siis sijaitsee siten, että puun taivutuksessa alapuoli rasittuu enemmän kuin yläpuoli ja että siis tavallisesti taivutuksenalaisessa puukappaleessa yläpuoli on tarpeettoman luja, lasketaan kuitenkin puiden taivutuslujuudet aivan niinkuin homogenisten kappaleidenkin, joten siis tässä käytetään samoja kaavoja kuin näillekin.

Kansainvälisen aineenkoetuksen käytännön mukaan mitataan tavallisesti puukappaleen taivutuslujuus siten, että puukappale rasitetaan keskeltä yhdestä pisteestä. Näin on asian laita Euroopassa, jonka metsätieteellisissä koelaitoksissa ja myös aineenkoelaitoksissa yleensä on käytetty pieniä kappaleita. Yhdysvalloissa, jossa käytetään tähän tarkoitukseen suurempia parruja, on kuormitus järjestetty vaikuttamaan kahteen osaan, nim. 2 pisteeseen $^1/_3$:lle kummastakin parrun päästä. Parrun päät lepäävät kahdella terävällä kannattimella, ei kuitenkaan välittömästi, vaan siten, että terien ja puun väliin on asetettu lautapalaset, jotka ovat pituudeltaan $^1/_{10}$ kannatusvälistä ja vahvuudeltaan $^1/_3$ parrun korkeudesta. Samanlaiset laudat ovat myös asetetut niiden terävien teräsosien alle, joiden kautta kuormitus ta-

pahtuu. Sitäpaitsi on määrätty, että kannatusvälin tulee olla vähintäin 8 kertaa niin suuri kuin kokeessa käytetyn parrun korkeus on. Ennen kuin taivuttaminen alkaa, pingoitetaan kappaleen päästä päähän nauha, jonka kohta samalla kertaa merkitään taivutettavalle parrulle. Tämä tapahtuu tavallisesti siten, että nauha on kastettu värinesteeseen ja nauhaa nykäistään jonkun matkaa puun pinnasta pois, jonka jälkeen se uudestaan saa kimmota takaisin puuhun, jolloin se piirtää viivan puun pintaan. Kun puuta tämän jälkeen taivutetaan, jää nauha paikalleen, mutta sen kuva puussa siirtyy alaspäin, joten tarkoin voidaan nähdä, kuinka paljon puu taipuu alkuperäisestä asennostaan. Tällä tavalla voidaan aina jokaiselle painon lisäykselle, = kuormituksen lisäykselle määrätä vastaava taipuminen. Kuormitus mitataan tavallisesti kymmenissä kiloissa ja taipuminen taas 1/1000 sm:issä. Kun kuormitusta vastaavat luvut asetetaan ordinaatoiksi suorakulmaiseen koordinaatistoon siten, että 1 mm vastaa 10 kg ja painamisluvut abskissoiksi (1 mm = $^{10}/_{1000}$ sm), niin huomataan, että koordinaatistolle asetettujen pisteiden ura aluksi on suora viiva, mutta sen jälkeen alkaa viiva nopeammin painua x-akselia kohti ja koordinatistolle asetettujen pisteiden ura ei ole enään suoraviivainen. Sillä kohtaa, missä täten syntyneet suora ja käyrä viiva leikkaavat toisensa, on kappaleen kimmoisuusraja. Jos taas kuormitusta jatketaan edelleen siksi, kunnes kappale murtuu, saavutetaan kappaleen murtumisraja. Kappale, joka ei vielä ole taivutettu kimmoisuusrajaansa asti, palaa vielä, kun kuormitus lopetetaan entiseen asemaansa. Jos taas kappaletta taivutetaan yli sen kimmoisuusrajan, ei se enään kuormituksen lakattua palaa entiselleen. Käytännössä ei kappaletta saada rasittaa yli kimmoisuusrajan, ja sitä voimaa, joka vaikuttaa tätä rajaa vastaavia muodon muutoksia sanotaan kappaleen tietopuoliseksi kantovoimaksi. Pintayksikköä kohti vaikuttavaa tietopuolista kantovoimaa nimitetään aineen kantomoduliksi, ja taas varomoduliksi l. sallituksi jännitykseksi sanotaan sitä voimaa, jolla käytännössä on lupa rasittaa kappaletta pintayksikköä kohti.

Kun varomoduli käytännössä määrätään, voi se tapahtua kahdella tavalla. Se määrätään joko jonakin vissinä osana kantomodulista tai jonakin vissinä osana murtomodulista, jolla taas tarkoitetaan pintayksikköä kohti vaikuttavaa murtavaa voimaa.

Vanhemmat tutkijat ovat puun taivutuslujuutta määrätessään yleensä käyttäneet hyväksi sitä, mitä edellä mainittiin tietopuoliseksi kantovoimaksi. Tämä riippuu siitä, että se paino, joka tarvitaan puukappaleiden murtamiseen, on sangen suuri, ja esim. Nördlinger ei aluksi saanut käy-

tettäväkseen tarpeeksi vahvoja koneita. Sittemmin ovat myöhemmät tutkijat voineet käyttää koneita, joilla he ovat voineet murtaa koekappaleensa ja tällaisia koneita on yleensä voitu jo käyttää niin kauan aikaa kuin aineenkoetuslaitoksia on ollut olemassa. Mitä taas tulee kokonaisten suurten parrujen taivuttamalla murtamiseen, niin on amerikalaisissa koelaitoksissa käytetty molempia tapoja ja on sielläkin mieluummin murrettu kappaleet, koska yleensä murtumishetki voidaan sangen tarkoin määrätä.

Jo edellä mainittiin siitä, kuinka taivuttavan voiman kokeissa annettiin vaikuttaa 2:lla eri tavalla, nim. joko yhteen pisteeseen kappaleen keskellä, tai pisteisiin, jotka sijaitsivat parrun yläpinnalla $^1/_3$:lla sen pituudesta kummastakin päästä. Kummassakin tapauksessa tarvitaan luonnollisesti erilaiset kuormitukset kappaleen murtamiseen. Jos esim. kappale on tuettu toisesta päästään, ja voima vaikuttaa sen toiseen päähän tai taas kappale on tuettu kummastakin päästään ja voima vaikuttaa sen keskelle, niin tarvitaan edellisessä tapauksessa kappaleen murtamiseen ainoastaan $^1/_4$ siitä voimasta kuin jälkimmäisessä.

Edelleen riippuu kappaleen taivutuslujuus hyvin suuressa määrin siitä, minkälainen kappaleen poikkileikkauspinta on. Kaikkein suurin taivutuslujuus on sellaisella pelkalla, joka on veistetty seuraavalla tavalla: puuhun piirretään sen diametri, jonka jälkeen diametri jaetaan 3 yhtä suureen osaan. Kummastakin jakopisteestä vedetään kohtisuorat ja pidennetään niitä siksi, kunnes ne leikkaavat kumpikin tahollaan ympyränkehää. Kumpikin leikkauspiste yhdistetään diametrin päätepisteiden kanssa, jolloin syntyy suorakaide, jonka halkaisijana on ympyrän halkaisija. Tällaisessa suorakaiteessa suhtautuvat sivut toisiinsa suunnilleen niinkuin 10 : 7 tai 7 : 5.

Jos ajatellaan, että on tehty 2 aivan samanlaisesta puusta tehtyä parrua ja toinen parru on senmuotoinen kuin edellä määriteltiin ja toinen taas sellainen, että siinä sivuna on edellä mainitun parrun lyhin sivu, niin suhtautuvat näiden taivutuslujuudet toisiinsa niinkuin 100 : 75.

Jos taas verrataan toisiinsa pyöreää, säännöllisesti kasvanutta puunrunkoa tai siitä neliskulmaiseksi veistettyä suurinta parrua, niin on kummankin näiden taivutuslujuus sama, asetettiin ne mille suunnalle tahansa. Tämän seikan on jo DUHAMEL DU MONCEAU todennut. Sitäpaitsi totesi DUHAMEL DU MONCEAU parruilla, jotka olivat veistetyt neliskulmaisiksi ja otetut puusta siten, että niihin ei sattunut ydintä, että sellainen parru, jonka vuosilustot kulkevat pystysuoraan, on lujempi paremmin kuin jos parru asetetaan siten, että sen vuosilustot kulkevat vaakasuoraan. Tämän

seikan otaksui Duhamel du Monceau riippuvan siitä, että puiden vuosilustot irtaantuvat helposti toisistaan, jotavastoin Nördlinger oli sitä mieltä, että Duhamel du Monceau'n tutkimukset eivät ole varmoja senvuoksi, että hän oli käyttänyt sellaisia koekappaleita, joiden poikkileikkauspinta-alat olivat yhtäsuuret, mutta, joiden poikkileikkauspinnat eivät olleet aivan samanmuotoiset.

Myöhemmin on kuitenkin todettu, että Duhamel du Monceau on sittenkin ollut oikeassa. Erot lujuudessa eivät kuitenkaan ole niin huomattavia kuin Duhamel du Monceau on luullut. Jos verrataan toisiinsa 2 sellaista läpileikkaukseltaan suorakaiteenmuotoista parrua, jonka sivut suhtautuvat toisiinsa niinkuin 10 : 7, mutta toisessa vuosilustot kulkevat pidemmän sivun suuntaan ja toisessa taas ydin on suunnillen keskellä, niin suhtautuvat Mayr'in mukaan näiden lujuudet toisiinsa niinkuin 90 : 100.

Jos taas kappaleiden läpileikkauspinnat ovat neliöitä, on vastaava suhde = 75 : 70. Jos edellämainittu 100:lla merkitty pölkky käännetään pidemmälle sivulleen, on sen lujuussuhdeluku edellisiin verrattuna ainoastaan 60.

Taivutuslujuuden suhteen on edelleen hyvin tärkeätä se, kuinka asianomainen puukappale puusta irrotetaan. Jos sahataan puusta esim. pintalauta siten, että sahanterä kulkee puun runkokäyrän, siis ei pituusakselin suuntaan, niin saadaan taivutuksessa tuntuvasti lujempaa puuta kuin, jos puu sahataan tavallisella tavalla. Jokainenhan tietää sitäpaitsi, että puuta voidaan taivuttaa paljon voimakkaammin silloin, kun sen pinta jätetään särkemättä, siis käytetään puukappaletta kuoripäällisenä tai kuoritaan se varovaisesti. Mayr mainitsee edelleen, että myös sellaiset puukappaleet, jotka halkaisemalla kiilan avulla pienennetään itse rungosta, ovat huomattavasti lujempia kuin siitä sahalla irroitetut kappaleet. Tämä merkitsee sitä, että täten irrotetuissa kappaleissa vähemmän särkyy soluja ja soluryhmiä kuin sahalla halaistuissa.

Kun puiden taivutuslujuuden suhteessa tehtyjä tutkimuksia verrataan toisiinsa, niin on aina otettava huomioon, että vanhemmat tutkimukset tehtiin, niinkuin jo edellä on mainittu, kimmorajan perusteella. Näin menettelivät Duhamel du Monceau, aluksi Chevandier ja Wertheim sekä myöskin Barlow, Rondelet, Ebbels y.m. Chevandier & Wertheim ja Nördlinger lienevät olleet ensimmäiset, jotka mursivat taivutettavia kappaleita. Kun vanhanaikaisilla epätäydellisillä koneilla oli sangen vaikea määrätä kimmoisuusrajaa, niin ymmärtää helposti, että tulokset olivat senmukaiset. Niinpä tuleekin Nördlinger tarkastettuaan

omien sekä edellä mainittujen tutkijoiden tutkimuksia siihen tulokseen, että tutkimukset pitävät niin vähän yhtä, että toistaiseksi hänen mielestään on mahdotonta edes lausua eri puulajeille mitään keskimääräisiä numeroita.

Myöhempi tutkimus on kuitenkin voinut antaa jonkun verran enemmän valoa asiaan, vaikka vielä nytkin on tällä alalla paljon epäselvää.

Puun taivutuslujuuteen vaikuttavat paitsi edellä lueteltuja yleisiä seikkoja seuraavat seikat: a. puun horisontaalinen ja vertikaalinen leveneminen sekä maaperä, b. puulaji, c. puun asema metsikossa, d. puun leikkauksen asema puussa, e. puun vesipitoisuus ja f. puun ominaispaino, g. puun ikä.

a. Puun horisontaalinen ja vertikaalinen leveneminen sekä maaperä. Näihin nähden pitää yleensä paikkansa MAYR'in optimilaki, kuitenkin niin, että optimum on otettava hyvin, laajassa merkityksessä eikä siis käsitä samaa aluetta kuin paino-optimum. Paremminkin voitaisiin puhua rungon muodostuksen optimumista niin, että puun taivutuslujuuden optimum on se alue, jossa puu saavuttaa oksattomimman ja täyteläisimmän rungon. Tästä syystä ovat esim. pohjoismaiset männyt taivutuksessa lujempia kuin saksalaiset männyt, ja esim. WIJKANDER'in tutkimukset ovat osottaneet, että ruotsalaisen kuusen taivutuslujuus on erikoisen suuri, suurempi kuin ruotsalaisen männyn. Mitä puun vertikaaliseen levenemiseen tulee, niin on yleensä todettu, että optimum tässä suhteessa on otettava hieman korkeammalle meren pinnasta kuin ominaispaino-optimum. Yleensä on osottautunut, että vertikaalisella levenemisellä on sangen huomattava merkitys puun taivutuslujuuteen niin, että se voi vaikuttaa taivutuslujuuteen jokseenkin yhtä paljon kuin horisontaalinenkin leveneminen.

b. Puulajin vaikutus lujuusominaisuuksiin esiintyy m.m. siinä, että lujuusominaisuudet eivät eri puulajeilla ole samat, vaikka niiden ominaispaino olisikin sama. WIJKANDER'in tutkimusten mukaan on esim. sellaisen kirsikkapuun, jonka ominaispaino on 0.54, murtomoduli 911, jotavastoin sellaisen männyn, jonka ominaispaino on 0.56, murtomoduli on 664. Kuusen, jonka ominaispaino on 0.46 murtomoduli on 604, jotavastoin samanpainoisen haavan murtomoduli on 644. Tämäntapaisia esimerkkejä voisi luetella muitakin, mutta jo näistäkin selviää, että kullakin puulajilla on oma erikoisrakenteensa, jonka perusteella se suuremmassa tai pienemmässä määrässä voi vastustaa taivuttamista. Mitkä seikat puun sisäisessä rakenteessa erikoisesti lisäävät taivutuslujuutta, ei ole

tarkemmin tunnettua. TETMAJER mainitseekin, että suurena syynä parempaan taivutuslujuuteen on puusolujen liimautuminen (Verkittung) toisiinsa. Sen mukaan, kuinka kiinteästi puusolut ja puusyyt ovat toisiinsa yhdistetyt, vaikeutuu luonnollisesti puun murtuminen taivuttaessa, ja paitsi liimautumista edistää tällaista puusolujen kietoutumista toisiinsa myös solujen suhteellinen pituus niiden paksuuteen nähden. Jos puusolut ovat hyvin monimutkaisesti kietoutuneet toisiinsa ja jos vuosirenkaiden reunat ovat epätasaiset, niin kestää puu usein suuresti taivutusta. Tästä syystä on esim. pyökillä ja valkopyökillä suuri taivutuslujuus. Kuusella on myös painoonsa nähden huomattavan suuri taivutuslujuus senvuoksi, että sen trakeiidit ovat pitkiä, ja samaa voidaan sanoa myös lehmuksesta ja haavasta, jotka nekin ovat pitkätrakeiidisia, paperipuuksi soveltuvia puita. Että männyn taivutuslujuus painoon nähden on pienempi kuin haavan, riippuu samasta seikasta, haavan trakeiidit ovat pitempiä kuin männyn.

c. Puun asema metsikossa vaikuttaa ehdottomasti myös puun taivutuslujuuteen, vaikkakin tavalla, jota toistaiseksi tutkimusten nykyisellä kannalla ollen on vaikea määritellä. Selvää on, että oksaisuus vähentää taivutuslujuutta, ja että puu, joka on taivutukselle altis, on siis mieluimmin asetettava siten, että oksainen puoli tulee sisäänpäin. Tästä syystä siis jo on selvää, että suurioksaisten puiden taivutuslujuus on pienempi kuin oksattomien ja että siis esim. suuret ja osaksi myös suurioksaiset valtapuut sekä harvassa asemassa kasvaneet puut yleensä tulevat olemaan lujuusominaisuuksiltaan huonompia kuin tiheässä metsässä kasvaneet oksattomat puut. Koska vallittujen puiden oksat yleensä ovat pienempiä kuin vallitsevien puiden, niin on todennäköistä, että vallittujen puiden taivutuslujuus useimmiten on suurempi kuin vallitsevien.

d. Puuleikkauksen asema puussa. Selvää on, että yleensä puun oksaiset osat ovat taivutusta vastaan heikompia kuin sen oksattomat osat, joten siis latvusosa yleensä on heikompaa kuin oksaton rungonosa. Sitäpaitsi on puun pohjoispuoli yleensä taivutukselle lujempaa kuin eteläpuoli, riippuen siitä, että latvus sillä puolella on raskaampi, joten puun jo rakenteeltaan on tällä puolella täytynyt tottua vastustamaan suuremmassa määrin taivuttavaa voimaa. Jos metsässä on selvästi huomattavissa joku määrätty taivutussuunta, s.o. jos taipuneet puut ovat johonkin määrättyyn suuntaan, esim. tuulen vaikutuksesta, niin on taivutuksen vastainen suunta luonnollisesti lujempi kuin se suunta, jolle puu on taipunut.

Yleensä on pintapuu taivutuksen suhteen lujempaa kuin sydänpuu. Tämä pitää kuitenkin paikkansa ainoastaan oksattomiin puuosiin nähden, oksaisissa puuosissa on asianlaita päinvastainen.

FÖPPEL'in ja JANKA'n tekemien tutkimuksien mukaan on oksien yläpuoli lujempaa taivutusta vastaan kuin oksien alapuoli, sellaisissakin puulajeissa, joiden oksat ovat ylöspäin kaarevat, niinkuin esim. männyssä ja kuusessa. Tämä seikka on senkin vuoksi mielenkiintoinen, että painon laita on aivan päinvastainen, oksien alapuoli on nim. raskaampaa kuin niiden yläpuoli.

e. K o s t e u d e n v a i k u t u s taivutuslujuuteen on suunnilleen sama kuin puristuslujuuteenkin. Taivutuslujuus vähenee siis kosteuden lisääntyessä niin, että jos huonekuivan puun taivutuslujuutta merkitään 1:llä, niin on metsäkuivan puun taivutuslujuus noin 0.80 l. siis 20 % pienempi ja vastakaadetun puun taivutuslujuus 0.50 l. siis puolet huonekuivan puun lujuudesta. Tuoreen puun pieni taivutuslujuus on tärkeä ottaa huomioon esim. kaivos- ja kellarirakenteissa, joissa siis mittojen tulee olla paljon suuremmat kuin ilmassa, huoneesta puhumattakaan.

f. O m i n a i s p a i n o a pidettiin ennen aikaan milt'ei vääjäämättömänä lujuuden mittana. Uudempi tutkimus on kuitenkin, kuten jo osaksi edellä on viitattu, näyttänyt, että näin ei ole asian laita. TETMAJER onkin huomauttanut, ettei ominaispainosta esim. selviä puun sellulosa-, lingnini- ja kumipitoisuus l. toisin sanoen, se suhde, missä nämä aineet esiintyvät soluseinissä. Ominaispaino ei myöskään ole mikään merkki siitä, miten puusolut ovat toisiinsa liimautuneet. Oikeastaan riippuu taivutuslujuus siitä, kuinka helppo on siirtää puusyitä toisistaan, ja juuri tähän seikkaan ei ominaispaino anna mitään selvitystä. Sitävastoin riippuu puun lujuus paljon suuremmassa määrässä sellaisista seikoista kuin rungon oksaisuudesta, rungon suoruudesta j.n.e. Joka tapauksessa voidaan kuitenkin painoa, vissit rajoitukset huomioon ottaen, pitää lujuuden mittana. Jos on kysymys samasta puulajista samalla maalla, niin useimmiten oksaton puu on sitä lujempaa mitä suurempi ominaispaino sillä on. Tämä merkitsee oikeastaan samaa kuin, että samalla puulajilla on sitä suurempi taivutuslujuus mitä suurempi kesäpuu-% sillä on. Jos sitävastoin suorakulmaiselle koordinaatistolle esim. abscissa-akselille merkitään puun ominaispaino ja ordinaata-akselille sen murtomodulit, niin pisteet eivät muodosta mitään selvästi nousevaa käyrää, vaan voidaan puhua ain. suuremmasta tai pienemmästä positiivisesta korrelaatiosta.

g. P u u n i ä n vaikutus sen taivutuslujuuteen riippuu oikeastaan siitä, että vanhemmissa puissa useimmiten kesäpuu-% on suurempi kuin

nuoremmissa. Tästä syystä on, kuten WIJKANDER on osottanut, yleensä vanhemman puun taivutuslujuus suurempi kuin nuoremman. Mitään selvää eroa ei tässä kuitenkaan ole olemassa, ainoastaan suunta on huomattavissa. Mahdollista on myöskin, että hyvin vanhojen, ainakin 200 v. vanhempien puiden taivutuslujuus on pienempi kuin 100—150 vuotisten. Tämäkään asia ei kuitenkaan ole aivan selvä, sillä esim. taas 200-vuotiset ja sitä vanhemmat männyt ovat lujempia kuin 150—200-vuotiset männyt ja 200-vuotiset kuuset lujempia kuin 150—199-vuotiset kuuset. Nuorin luokka 1—49 vuotiset on kuusipuilla heikoin, jotavastoin se männyllä on jokseenkin yhtä luja ja muutamissa tapauksissa lujempikin kuin muut luokat. Lehtipuissa taas on nuorin luokka lujin, seikka, joka riippunee siitä, että nuorien lehtipuiden vuosilustot ovat leveät ja sisältävät paljon syyspuuta. Iän vaikutus puiden lujuussuhteisiin riippuu myöskin puiden halkeavaisuudesta, ja halkeamat vanhemmissa puissa tietysti saavat aikaan, että hyvin vanhat puut ovat lujuusominaisuuksiensa puolesta huonoja.

Mitä taivutuslujuuden absoluuttisiin arvoihin tulee, niin ovat ne MIKOLASCHEK'in ja WIJKANDER'in mukaan seuraavat:

kuusi	466	664
mänty	287	664
lehtikuusi	545	448
koivu	—	769
haapa	—	644
tammi	473	751
vaahtera	502	—
saarni	—	753
pyökki	632	641
valkopyökki	885	632

Kuten ylläolevasta näkyy, ovat tulokset hyvin erilaiset. Mitä MIKOLASCHEK'in tutkimuksiin tulee, niin ovat tutkittavat palaset olleet otetut 4—12 m korkeudelta. WIJKANDER'in luvut taas ilmaisevat koko rungon latvukseen kuulumattoman osan keskimäärää. Erikoisen arvokkaina on pidettävä TETMAJER'in tutkimuksia, jotka suuresti katsoen ovat tuloksiensa puolesta samansuuntaiset kuin MIKOLASCHEK'inkin. TETMAJER luokittelee puut taivutuslujuuteensa nähden heikommasta alkaen seuraavaan järjestykseen: mänty, kuusi, hopeakuusi, lehtikuusi, tammi ja pyökki. Jos mänty merkitään 1:llä, ovat edellä mainitut puulajit järjestyksessä: 1.19; 1.26; 1.65; 1.95.

4. Leikkauslujuus.

Tämä lujuuslaji tulee usein kysymykseen käytännössä. Esimerkkinä siitä mainittakoon kaikki upotukset ja sinkkaukset. Jos ajatellaan metsätyökaluja, niin tulee leikkauslujuus kysymykseen esim. kaplaiden upotuksessa re'en jalaksiin, pukkipadon pukeissa, ristikkorakennuksien ristikoissa, rakennuksien kattotuoleissa j.n.e. Leikkauslujuuden tutkimisesta on määrätty kansainvälisen aineen koetusliiton kokouksessa Brysselissä 1906 seuraavaa:

»Der Scherversuch ist an prismatischen Proben einschnittig auszuführen und soll sich auf die Ermittlung der Festigkeit radial und tangential zu den Jahrringen erstrecken. Der Angriff der Belastung erfolgt stets von Hirn aus. Die Scherbacken sollen nicht über 10 cm breit sein, die Breite der Proben bei Radialschnitt nicht über 50 mm, bei Tangentialschnitt nicht über 30 mm betragen. Die Länge der Proben in der Kraftrichtung soll gleich der 4 fachen Breite der Scherbacken sein. Ermittelt wird die Bruchspannung, bezogen auf den vollen Probenquerschnitt.»

Tutkimuksia leikkauslujuudesta ovat tehneet MIKOLASCHEK ja TETMAJER sekä BAUSCHINGER ja RUDELOFF.

MIKOLASCHEK on tutkinut leikkauslujuutta sekä puusyiden suuntaan että niitä vastaan kohtisuoraan suuntaan. Tutkimuksiin käytettiin pieniä sylinterinmuotoisia puukappaleita. Tuloksina mainittakoon, että leikkauslujuuden huomattiin, sitä puusyitä vastaan kohtisuorassa suunnassa tutkittaessa, olevan pienimmillään oksissa, ja rungon alaosissa osaksi suuremman ja osaksi pienemmän kuin rungon keskiosissa ilman, että mitään sääntöä tässä suhteessa voitiin määrätä, ja että se vuosilustojen suunnassa taas oli rungon keskiosissa suurempi kuin oksissa- ja alaosissa.

BAUSCHINGER'in tutkimuksien tärkeimpinä tuloksina mainittakoon, että leikkauslujuus on osottautunut riippumattomaksi vuosirenkaan leveydestä ja että se on pienimmillään ytimen tienoissa ja kasvaa kehään päin. Kasvaminen ei kuitenkaan ole säännöllinen, vaan tavallisesti löytyy sydänpuun ja pintapuun välillä paikka, jossa se on pienempi kuin lähempänä sydänpuuta.

RUDELOFF'in tutkimuksien tuloksista mainittakoon, että hän on tullut koepalasen asemaan ytimeen nähden samoihin tuloksiin kuin BAUSCHINGER. Sitäpaitsi on hän koettanut tutkia leikkauslujuutta eri korkeudella rungolla ja tullut siihen tulokseen, että mainittavaa eroa ei ole olemassa. Hänen tutkimuksensa mukaan oli ilmakuivan puun leikkauslujuus 12—13 % pienempi kuin sydänpuun. Ainoastaan aivan ytimen lähellä

olevat osat ovat heikot, jotavastoin sydänpuu ytimestä ulospäin on lujempaa, joten hänen tutkimuksiensa tulokset hieman eroavat Bauschinger'in tutkimustuloksista.

Edelleen ansaitsevat mainintaa Wijkander'in tutkimukset, joiden tarkoituksena on ollut m.m. selvitellä eri puulajien leikkauslujuutta. Tutkitut puut ovat olleet huonekuivia, ja tuloksena mainittakoon, että järjestettyinä lujimmasta heikompaan puut voitaisiin keskimäärin asettaa seuraavaan järjestykseen: 1) pyökki ja valkopyökki, 2) jalava, 3) saarni, 4) koivu ja tammi, 5) leppä, 6) haapa, 7) lehtikuusi, 8) mänty ja 9) kuusi.

Ylläolevat luvut osottavat, että lehtipuut siis yleensä ovat lujempia leikkausta vastaan kuin havupuut. Leikkauslujuus antaa jonkun verran käsitystä siitä seikasta, kuinka puun voidaan ajatella kestävän naulausta. Leikkauslujuus antaa myös jonkunlaisen kuvan siitä, kuinka lujia faneerilevyjä puusta saadaan.

Amerikalaisten koelaitosten tutkimukset leikkauslujuudesta eivät ole oikeastaan johtaneet euroopalaisista poikkeaviin tuloksiin, ne ovat korkeintaan merkinneet pienempiä lukuja, joka riippuu siitä, että suurempia koekappaleita on käytetty.

Tutkimuksen nykyisellä kannalla ollen ei leikkauslujuuden suhteen voida läheskään lausua yhtä varmoja johtopäätöksiä kuin muista lujuuslajeista. Seuraavia seikkoja voidaan kuitenkin allekirjoittaneen mielestä mainita todennäköisinä.

Selvää on, että leikkauslujuus on pienempi suusyiden suuntaan kuin kohtisuoraan näitä vastaan, se on myös useimmissa tapauksissa pienempi säteen kuin tangentin suunnassa. Löytyy kuitenkin useita tapauksia, jolloin se on yhtä suuri säteen suunnassa tai suurempikin.

Se seikka, miltä korkeudelta puussa koekappale otetaan, vaikuttaa yleensä leikkauslujuuteen sangen vähän. Luonnollisesti on olemassa selvä ero oksaisen ja oksattoman rungonosan välillä, mutta väliin on oksainen ja väliin taas oksaton rungonosa lujempi, joten tässä suhteessakaan ei ole mitään selvää sääntöä olemassa.

Yleensä lienee oksien leikkauslujuus pienempi kuin rungon.

Tutkittaessa puuleikkauksia eri lähellä ydintä tai pintaa, on yleensä todettu, että aivan ytimen lähellä olevat osat ovat heikoimmat. Lähimpänä pintaa olevat osat puussa ovat todennäköisesti lujimmat, mutta mitään varmaa sääntöä leikkauslujuuden lisääntymisestä ytimestä pintaan päin ei ole voitu todeta.

Vuosirenkaiden leveys ei yleensä vaikuttane leikkauslujuuteen, jotavastoin puun säännöllisellä rakenteella on siinä suhteessa suuri merkitys.

Yleensä ovat kaikki tutkimukset osottaneet, että tasarakenteinen ja säännöllissyinen puutavara on, niin omituiselta kuin se kuuluukin, tässä suhteessa lujinta.

Kosteusmäärän vaikutus leikkauslujuuteen on ehkä kaikkein selvimmin todettu.

5. Nurjahduslujuus.

Jo edellä on mainittu, että puristuslujuus tulee kysymykseen ainoastaan silloin kuin pituus ei ole suuri läpimittaan verrattuna. Jos asianlaita on päinvastainen, niin ei kappale murru, vaan ensin taipuu. Tässä esiintyy niinmuodoin pituussuuntaisen puristuksen ohella myös taivuttava momentti. Mistä murtuminen riippuu, ei toistaiseksi ole voitu selittää, mutta otaksutaan sen johtuvan sellaisista seikoista kuin täristyksestä, aineen erilaisesta lujuudesta poikkileikkauksen eri paikoissa j.n.e. Nurjahduslujuudesta puhuttaessa voidaan erottaa seuraavat 4 eri tapausta: 1) kappale on toisesta päästään kiinnitetty ja siihen vaikuttaa vapaasta päästä pituusakselin suuntainen voima, 2) kappale on kiinnitetty kummastakin päästään, mutta pääsee pyörimään pituusakselin suunnassa voimatta kuitenkaan siirtyä pituusakselin alkuperäisestä suunnasta, 3) kappale on edelleen puristettu samalla tavalla, mutta ainoastaan toinen pää pääsee kääntymään kuitenkaan siirtymättä akselin alkuperäisestä suunnasta, 4) koekappale on pituusakselin suuntaan puristettu, mutta kiinnitetty kummastakin päästään. Näistä tapauksista on tavallisin 3 tapaus, jonka perusteella lasketaan esim. puupilarit ja pielet, puristamalla rasitetut nyteet riippu- ja tukiansaissa, pylväät y.m.

Tätä alaa on hyvin vähän tutkittu. Sen verran on määritelty, että taipumis- ja nurjahdusilmiöt yleensä alkavat esiintyä sen jälkeen kuin kappale on noin 5 kertaa leveytensä pituinen. Kun on kysymys nurjahduksesta, niin ehkäisee sitä pääasiallisesti se, että puu on kaikkiin suuntiin samanlainen. Tällaisia puita ovat säännöllisesti harvennettujen metsikköjen valtapuut, joiden latvus on kehittynyt tasaisesti samalla tavalla joka suuntaan. Puunlatvuksessa ei ole siis huomattavissa mitään erikoista etelä- ja pohjoissuuntaa, ja senvuoksi on puu kummaltakin puoleltaan samanlainen.

Jos siis edellämainittuihin tarkoituksiin käytettävän puun saa itse valita metsästä, niin on se helppo sieltä löytää. Jos sitävastoin on kysymys kaadetuista puista, niin silloin on puun poikkileikkauspinnan ympyrän-

muotoisuus sekä vuosilustojen samakeskeisyys sekä ympyränmuotoisuus hyvä merkki. Sitäpaitsi on selvää, että vuosilustojen tulee vähitellen kaveta sydämestä pintaan päin, joten esim. äkkiä valoon saatetut puut, joissa leveä ja kapea vuosilusto sattuvat rinnakkain, eivät ole soveltuvia tähän tarkoitukseen.

Muut seikat, kuten vesipitoisuus, ominaispaino j.n.e. vaikuttavat nurjahduslujuuteen suunnilleen samalla tavalla kuin puristuslujuuteenkin. Mitä taas nurjahduslujuuden vaihteluihin eri puulajittain tulee, niin on siitä sangen vähän tutkimuksia. Sen verran voidaan kuitenkin sanoa, että meidän mäntymme on todennäköisesti tässä suhteessa ensimmäisellä sijalla, sillä se voittaa esim. tammen tässä suhteessa huomattavasti. Kuusi on hyvin paljon (ainakin 30—40 %) huonompaa kuin mänty ja tammikin on sitä noin 20 % huonompi. Koivun nurjahduslujuus on vielä jonkun verran huonompi kuin kuusen.

6. Vääntölujuus.

Ainoa, joka oikeastaan on tätä lujuuslajia tutkinut, on Mikolaschek. Hän käytti tutkimuksiinsa 40 sm pituisia koekappaleita, joiden poikkileikkauspinta-ala oli ympyrän muotoinen, mutta joiden pää oli veistetty neliskulmaiseksi. Hänen tuloksistaan mainittakoon seuraavaa: suurin vääntölujuus on oksilla, rungon osissa tämä ei erikoisesti vaihtele, korkeintaan ovat rungon alimmat osat tässä suhteessa heikompia kuin muut.

Vääntölujuus tulee kysymykseen esim. kaikenlaisissa akseleissa kuten erilaisten pyörien, puisen hevoskierron, vorokin j.n.e.

Paitsi yllämainittua voidaan vielä mainita, että vääntölujuus vaihtelee puulajeittain ehkä enemmän kuin mikään muu lujuuslaji. Kaikkein lujin kaupassa löytyvistä puulajeista on tässä suhteessa valkopyökki, erittäin luja on myöskin hickory, joka samalla on keveä, ja suuriarvoisia tässä suhteessa ovat myöskin vaahtera, saarni ja tammi sekä kotimaisista puulajeistamme etenkin koivu, ja voidaan puut asettaa suunnilleen siihen järjestykseen, kuin ne tässä on mainittu. Heikompia ovat leppä, kuusi, mänty ja heikointa haapa. Tämä on siis melkein ainoa lujuuslaji, jossa meidän suomalainen mäntymme jää takapajulle.

Vääntölujuudella on oikeastaan verrattain pieni käytännöllinen merkitys siitä syystä, että se on puulla sangen pieni ja että puuta esim. akseleiksi ei sellaisenaan voida käyttää, vaan on sen päihin joka tapauksessa liitettävä metallitapit. Tällöin tulee puun vääntölujuus jo suuresti riippumaan siitä, kuinka yllämainitut metalliosat siihen ovat kiinnitetyt. Sitä-

paitsi tulevat tähän tarkoitukseen käytettävät puuosat olemaan siksi suuria, että ne jo tästäkin syystä ovat hankalia ja tästä syystä käytetäänkin sellaisiin paikkoihin, joissa erikoisesti vääntölujuutta vaaditaan, mieluummin rautaa.

7. Kovuus.

Että kovuus myöskin kuuluu lujuusominaisuuksiin, selviää jo siitäkin, että myös sitä käsiteltäessä on kysymys puun vastustuksesta ulkonaisia mekaanisia voimia vastaan. Sitävastoin on verrattain vaikea pätevästi määritellä, mitä kovuudella tarkoitetaan. Voitanee ehkä yleisenä määritelmänä lausua, että

kovuudella ymmärretään sitä voimaa, jolla kappale kykenee estämään toisen kappaleen tunkeutumista itseensä.

Tämä toinen kappale voi olla monenlainen. Useimmissa tapauksissa on se määrätynmuotoinen työkalunosa, esim. kirveen-, sahan-, höylänj.n.e. -terä, naula y.m. Mutta myös kaikki kulumisilmiöt kuuluvat tähän. Jos ajatellaan esim. lattian kulumista, niin riippuu se siitä, että kaksi epätasaista pintaa hankaa toinen toisiansa vastaan, l. toisin sanoen, toisessa pinnassa olevat epätasaisuudet, joita oikeastaan voidaan kuvitella tylsemmiksi tai terävämmiksi piikeiksi, tunkeutuvat toiseen. Jo tästä selviää, että kovuudella on ehkä suurempi merkitys kuin millään muulla puun teknillisellä ominaisuudella. Kovuusominaisuuteen kuuluvaksi on myös luettava puun halkeavaisuus, sillä tässä ei usein ole kysymystä muusta kuin siitä, että määrätyn muotoinen kappale, kiila, yrittää tunkeutua puuhun syiden suuntaan.

Kovuutta voidaan tutkia monella tavalla. Hyvin sopivä kovuuden tutkimuskone on tavallinen höyläkone. On vain valittava eri puulajeista samanlaisia lautoja, asetettava ne kulkemaan höyläkoneen lävitse ja sen jälkeen arvioitava samaa voiman käyttöä samassa ajassa vastaava höylätty pinta-ala. Tällä tavalla ovat kovuutta tutkineet EXNER, tavallaan DU MONCEAU y.m. Myöskin sahauskoneiden, m.m. tavallisen käsisahan, avulla voidaan kovuustutkimuksia tehdä, ja ovat sellaisia tehneet m.m. EXNER, ERNST HARTIG ja PFAFF. Nämä tutkimukset eivät kuitenkaan ole johtaneet toivottuihin tuloksiin siitä syystä, että n.k. elävien moottorien työn arvioiminen vaatii fysioloogisia tietoja, joita näiden kokeiden tekijöillä ei ole ollut. Joka tapauksessa voidaan koneellisia työkaluja käyttäen kaikkein parhaiten määrätä eri puulajien kovuus, ja juuri täten saavutetaan lukuja, joilla on puhtaasti käytän-

nöllinen merkitys. Valitettavsti kyllä ei kuitenkaan missään ole tehty päteviä tutkimuksia tällä alalla.

Sitävastoin voidaan sanoa, että kovuus on se ominaisuus, jonka käytännöllinen työntekijä parhaiten tuntee. Mitä vaikeampi työntekijän on saada käyttämäänsä työkalua tunkeutumaan puuhun, sitä kovemmaksi hän sen yleensä arvostelee. Mutta hyvin usein kuitenkin tämä käytännönmiehen arvostelu suuresti poikkeaa siitä arvostelusta, jonka kovuustutkimukset antavat. Tämä riippuu pääasiallisesti puun anatoomisesta rakenteesta. Jos puun kesäpuuosa esim. on erittäin kova ja esim. kevätpuuosa erittäin pehmeä, niin tuntuu tällainen puu kuitenkin kovalta sitä työkalulla käsiteltäessä. Ihminen ei tässä tapauksessa kykene ottamaan oikeata keskimäärää, jotavastoin kone sen tekee. Jokapäiväisessä työkalujen käytössä ei myöskään osata ottaa huomioon satunnaisia vaikutteita, joilla varsinkin kovuutta arvosteltaessa on suuri merkitys.

Ne kovuustutkimukset, joita on tieteellisellä tarkkuudella tehty, eivät perustu työkalukoneisiin. Niissä on tungettu puuhun eri muotoisia kappaleita sekä mitattu se voima, joka tähän tarkoitukseen kulloinkin on tarvittu. Büsgen käytti tutkimuksissaan teräsneulaa, joka oli maasondin muotoinen. Hänen menettelytapaansa vastaan voidaan tehdä se muistutus, että hän ei saanut luotettavia tuloksia silloin kuin neula joutui tunkeutumaan kevät- ja kesäpuun väliin. Tällöin jäi nim. tulos riippuvaiseksi vuosilustojen leveydestä, sillä leveässä vuosilustossa voi sattua, että neula tunkeutui yksinomaan pehmeään kevätpuuhun. Janka taas otti käytäntöön ruotsalaisen insinöörin Brinell'in menettelytavan, jossa käytettiin puolipallon muotoista kuulaa, joka puristettiin puuhun. Tämä Brinell'in menettelytapa oli otettu käytäntöön metallien kovuutta tutkittaessa ja soveltuu se kutakuinkin hyvin myös puun kovuuden tutkimiseen. N.k. Brinell'in kuula on metallitasoon kiinnitetty puolipallo, jonka isoympyrän pinta-ala on 1 sm^2 ja jonka läpimitta näin ollen on 5.642 mm. Sen käytäntöönottamisesta on vielä se etu, että tutkimuksiin voidaan ilman muuta käyttää puristuslujuuden tutkimista varten tarpeellista konetta. Kun koneesta luetaan kuulan sisään painamiseen tarpeellinen voima, tulee se samalla kertaa niinkuin muutkin lujuusvoimat lausutuksi 1 sm^2 kohti.

Kovuus on riippuvainen seuraavista seikoista: a. voiman suunnasta, b. puulajista, c. puun sisärakenteesta, d. leikkauksen asemasta puussa, e. puun vesipitoisuudesta, f. puun lämpötilasta, g. puun painosta.

a. Kuten kaikkiin lujuusominaisuuksiin, vaikuttaa kovuuteenkin voiman suunta verrattuna puusyiden suuntaan. Tällöin on ainoastaan otettava huomioon, vaikuttaako voima puusyiden suuntaan, vai kohtisuoraan niitä vastaan, sillä tutkimukset ovat (Amerikassa tehdyt) osottaneet, että sillä seikalla, vaikuttaako voima säteen tai tangentin suuntaan ei ole sanottavaa merkitystä. Käytännöstä tiedetään, että puu on kovempaa silloin kuin voima vaikuttaa puusyiden suuntaan. Tästä syystähän esim. puunuijat, hakotukit y.m. tehdään siten, että poikkileikkauspinta tulee voiman vaikutuksen alaiseksi. Kuinka suuri taas ero tässä suhteessa on, on seikka, jota ei ole ratkaisevasti tutkittu, mutta sen verran tiedetään, että ero käy sitä suuremmaksi, mitä kuivemmasta puusta on kysymys. Tuoreessa puussa on ero amerikalaisten tutkimusten mukaan sangen pieni, korkeintaan 10 %, jotavastoin se kuivassa puussa on 40:kin %.

b. Kovuuden riippuvaisuus puulajista on jokaiselle käytännön miehelle tuttu, sillä yleensähän puhutaan kovista ja pehmeistä puista. JANKA on jakanut puut seuraaviin luokkiin:

I	Sangen kovat puulajit, kovuusluku, kg/sm²	pienemp. 350
II	Pehmeät	350— 500
III	Keskikovat	500— 650
IV	Kovat	650—1,000
V	Hyvin kovat	1,000—1,500
VI	Luukovat	suuremp. 1,500

c. Puun sisärakenteesta riippuu kovuus siten, että kesäpuun runsaus luonnollisesti lisää havupuissa niiden kovuutta. Lehtipuissa taas ei tässä tapauksessa ole varmaa sääntöä. Yleensä on puu, jolla on kapeat vuosilustot vissiin rajaan, noin 1 mm tienoihin asti, kovempaa kuin leveämpivuosilustoinen.

Selvää on myös, että erilaiset vikanaisuudet puussa, niinkuin lylymuodostus, visa- ja nikaramuodostumat y.m. lisäävät puiden kovuutta. Kovuuden voidaan myös sanoa olevan riippuvainen siitä, kuinka paksut soluseinät ovat soluonteloihin verrattuina. Tämä pitää paikkansa etenkin silloin kuin on kysymys samasta puulajista, ja jos esim. mikroskopisesti määrätään soluonteloiden ja soluseinien välinen suhde, niin voidaan tämän perusteella arvostella jossain määrin puun kovuutta. Samoin voidaan myös sanoa, että kovuus on riippuvainen solujen poikkileikkauspinta-alasta silloin kuin voima vaikuttaa puusyiden suuntaan. Tässä

tapauksessa on nim. puu jokseenkin säännöllisesti sitä kovempaa mitä useampi solu mahtuu pinta-alayksikölle. Lopuksi voidaan myös sanoa, että kovuus on riippuvainen siitä, ovatko solujen poikkileikkauspinta-alat yhtäsuuria tai erisuuria, l. toisin sanoen puun tasaisemmasta tai epätasaisemmasta rakenteesta. Jos nim. havupuulla on tasainen rakenne, s.o. jos sen solut ovat yllämainitussa merkityksessä yhtä suuria, on havupuu myös kovaa.

d. Leikkauksen asema puussa vaikuttaa itse asiassa sangen vähän kovuuteen. Käytännössä puhutaan puun kovasta ja pehmeästä puolesta, jolloin, esim. tuulisella paikalla, se puoli on kova, jonne tuuli puuta taivuttaa. Tällä puolella puuta ovat myöskin oksat pisimmät ja paksummat, joten siis myös voidaan sanoa, että puun oksaisempi puoli on kovempi. Edelleen on varsinkin aukealla kasvaneissa puissa selvästi eteläpuoli oksaisempi kuin pohjoinen ja samoin on se myös usein kovempi. Tätä seikkaa on m.m. Janka tutkinut ja huomannut, että ero voi olla sangen tuntuva, esim. kuusella n.k. kova puoli 328 kg/sm², jotavastoin puun toinen, lylytön puoli, oli ainoastaan 274 kg/sm². Vastaavat luvut lehtikuusella olivat 502 ja 346 kg/sm².

Myös juurenniskasta tyvipaksuneman loppuun on puu yleensä kovempaa kuin muualla, mutta tämän jälkeen ei oikeastaan voida sanottavaa eroa rungon eri osissa huomata.

Oksat ovat yleensä havupuissa kovemmat kuin runko.

e. Puun vesipitoisuuden vaikutuksesta kovuuteen ollaan kauvan aikaa oltu epäröivällä kannalla. Jos on kysymys kovista puulajeista, niin pehmenevät ne huomattavasti kosteusmäärän kasvaessa. Jos sitävastoin on kysymys erittäin pehmeistä puulajeista, vieläpä sellaisistakin kuin lehmuksesta, haavasta, strobusmännystä j.n.e., niin on asian laita päinvastainen. Suurin osa tavallisimmista käytännössä esiintyvistä puulajeista kuitenkin pehmenee kosteuden lisääntyessä. Amerikassa tehdyt tutkimukset osottavat, että jos puu vastakaadetusta kosteusasteestaan tulee huonekuivaksi (5—10 % vettä), niin lisääntyy kovuus puusyiden suuntaan suhteessa 1 : 2 ja taas kohtisuoraan puusyitä vastaan suhteessa 1 : 1.6.

f. Puun lämpötila vaikuttaa myös jonkun verran puun kovuuteen. Jos puuta lämmitetään siten, että puun vesipitoisuus ei lämpötilan kohoamisesta huolimatta alene, niin puu hyvin vähän pehmenee. Jos lämpötilaa kohotettaessa vielä puun vesimäärää kohotetaan, niin vasta tämän kautta saadaan huomattava pehmeneminen aikaan. Voidaan siis sanoa, että lämpötilan kohotessa 0° C:sta ylöspäin puun kovuuden muu-

tokset oikeastaan riippuvat kosteuden vaihteluista. Jos taas lämpötila alenee 0°:sta C alaspäin, niin silloin puu kovenee jäätyessään ja saavuttaa suurimman kovuutensa silloin, kun puuaineen lämpötila on noin — 20° C. Tällöin on puu tullut kovaksi ja hauraaksi, seikka, jonka käytännön miehet hyvin tuntevat. Puu on siksi haurasta, että suurimittainen tukkipuukin voi katketa kuin lasi, jos se sattuu kovaa estettä vastaan. Tästä syystä koetetaankin välttää puiden kaatamista kovina pakkaspäivinä, jolloin kuitenkin on huomattava, että edellä olevat luvut eivät suinkaan tarkoita ulkoilman lämpötilaa, vaan puun sisäistä lämpötilaa.

g. Puun painon vaikutus kovuuteen ei yleensä ole niin selvä kuin luulisi. Niinpä esim. JANKA'n aineistosta selviää, että kuuset useissa tapauksissa ovat kovempia, vaikka niiden ominaispaino on pienempi, mutta suuresti katsoen voidaan ehkä sanoa, että suurempi ominaispaino silloin, kun on samasta puulajista kysymys, myös merkitsee suurempaa kovuutta. Mainittakoon kuitenkin, että esim. pihkapitoisuus, joka lisää havupuiden painoa, vähentää niiden kovuutta, joten esim. raskas pihkapitoinen mänty usein on pehmeämpää kuin keveämpi vähäpihkainen mänty.

h. Omasta puolestaan pyytää tämän kirjoittaja kovuuden suhteen vielä esittää seuraavaa. Jo edellä mainittiin, että täten teoreetisesti tutkittu kovuus ei vastaa sitä käsitystä, jonka esim. puutyöntekijä saa kovuudesta käsitellessään puuta eri työkaluilla. Tämä riippuu pääasiallisesti siitä, että puu ei ole yhtenäinen kappale, vaan että se on kokoonpantu eri kovista osista. Niinpä esim. berberispensaan kesäpuu on kovempaa kuin mikään muu puuaine ja esim. havupuun kesäpuu on 4—5 kertaa niin kova kuin sen kevätpuu. Ydinsäteiden kovuus on taas huomattavasti pienempi kuin muun puuaineen. Kun jotakin työkalua käytetään, niin riippuu sen teho hyvin paljon siitä, minkälaisia osia se puusta kohtaa, ja mihin suuntaan se vaikuttaa.

Jos ajatellaan esim. höylän vaikutusta, niin tavallisen höylän vaikutus on puuta pituussuuntaan höylättäessä pääasiallisesti puuta halkaiseva. Jos ajatellaan, että höylä koko ajan joutuisi leikkaamaan puuta ydinsäteiden suunnassa, niin saataisiin puun kovuudesta aivan toisenlainen käsitys kuin jos höylä leikkaisi puuta tangentin suunnassa tai poikkileikkauspinnan suunnassa. Sitäpaitsi riippuu luonnollisesti höylän vaikutusaste siitä, kuinka paksuja lastuja puusta otetaan. Puskuhöylällä ei siis menestyksellä voida tutkia puun lujuutta. Aivan toinen on kutterihöylän laita. Se tulee leikkaamaan puuta joka leikkauksella kaikissa suunnissa, ja senvuoksi voidaankin kutterihöylää menestyksellä käyttää puun kovuuden arvostelemiseen.

Kirves ei anna mitään käsitystä puun kovuudesta. Se tunkeutuu puuhun parhaiten vuosisyiden suuntaan, mutta silloin ei luonnollisesti olekaan kysymys puun kovuudesta vaan puun halkeamisesta. Jos sitävastoin kirves lyödään puuhun viistoon syitä vastaan, niin vaikuttaa terän muoto hyvin paljon siihen, kuinka kirves puuhun tunkeutuu. Tästä syystä täytyykin kovia puulajeja hakattaessa käyttää kapeateräistä, verrattain keveätä kirvestä, jotavastoin pehmeitä puulajeja on hakattava raskaalla kirveellä syystä, että puusyyt helposti painuvat alas kirveen tieltä. Mutta juuri se seikka, että eri kovia puulajeja vaistomaisesti tullaan käsittelemään eri mallisilla kirveillä, aiheuttaa sen, että kirveen käyttäjä ei tule oikeaan käsitykseen puun kovuudesta. Jos kirveen perusteella tahdotaan saada tietää puiden kovuutta jollakin paikkakunnalla, niin antaa siellä käytetyn kirveen muoto, ei siis useinkaan työntekijän kokemus, parhaan käsityksen puiden kovuudesta.

Saha taas päinvastoin antaa aika hyvän käsityksen puun kovuudesta, sillä yleensä on helpompi käsin sahata pehmeitä puulajeja. Jos siis kovuutta sahalla tutkittaisiin, niin voitaisiin ajatella esim. sentapaista menettelyä kuin Nördlinger käytti. Hän laski sahan vedot puuta katkottaessa ja mittasi senjälkeen sahatun pinta-alan, sekä otti lopuksi selville, kuinka monta mm. kutakin vetoa kohti sahattiin. Tällä tavalla koetti Nördlinger tutkia, mitkä osat samassa puussa olivat kovempia ja mitkä pehmeämpiä. On kuitenkin huomattava, että sahauksessa esiintyy monta seikkaa, jotka vaikuttavat häiritsevästi johtopäätösten tekoon. Niinpä esim. pehmeissä puulajeissa sahauspinnat tulevat epätasaisiksi, sahanpuru tulee karkeaksi ja nämät seikat vaikeuttavat sahausta, joten niiden vaikutus olisi eliminoitava. Sahauksessa on myös mahdotonta käyttää koville ja pehmeille puulajeille samalla tavalla haritettua sahanterää ja jo senkin vuoksi ei hyvin eri kovia puulajeja edes voi ottaa tällä tavalla kokeiltaviksi. Jossain määrin voidaan kuitenkin jollain paikkakunnalla esiintyvien puiden kovuudesta tehdä johtopäätöksiä sahamallien perusteella, niin, että paikkakunnilla, joissa yleensä käytetään pitkähampaisia ja leveälle haritettuja sahoja, kasvaa pehmeitä puulajeja, jotavastoin lyhythampaiset ja kapealle haritetut sahat merkitsevät kovaa puuta.

Kairat, varsinkin suuremmat, kelpaavat koko hyvin puun kovuuden mittaamiseen, varsinkin, kun on kysymys kuivista puista. Sentähden esim. salvuumiesten, puuseppien j.n.e. käsitykset puiden kovuudesta ovat sangen oikeat. Myös kairalastujen laatu ilmaisee usein puiden kovuuden. Suoraviivaisesti katkotut ja yhtä suuret kairalastut merkitsevät kovaa

puuta, jotavastoin revityt, eri suuret ja epäsäännölliset kairalastut merkitsevät pehmeätä puuta.

Kaikkein parhaiten kaikista työkaluista ilmaisee kuitenkin sorvi puun kovuuden. Se tulee koskettamaan puuta kaikissa suunnissa ja sorvauspinnan sileys on hyvä puun kovuuden ilmaisija. Jos puu on kovaa, on sen sorvauspinta sileä, jotavastoin pehmeitä puita on vaikea sileäpintaiseksi sorvata, niitä täytyy useimmiten vielä silitellä perästäpäin.

Lopuksi mainittakoon, että BRINELL'in kuulakokeella saavutetut lujuusarvot ovat osottautuneet olevan määrätyssä suhteessa muihin puiden lujuuslukuihin. Mikäli tekijä on tähänastisten tutkimusten perusteella havainnut, on tämä seikka siksi selvästi todettavissa, että tekijä otaksuu aivan mahdolliseksi korvata kaikki lujuustutkimukset ainoastaan kovuustutkimuksilla. Täten voitettaisiin paljon, sillä BRINELL'in tai siitä johdettu parannettu kovuuskoe on helppo suorittaa, joten päästäisiin käyttämästä niitä hankalia koneita, joita muuten lujuustutkimuksissa tarvitaan.

8. Puun halkeilevaisuus.

Puun halkeilevaisuudesta voidaan puhua oikeastaan kahdelta kannalta katsoen, ensinnäkin ymmärretään halkaisemisella puuosien erottamista toisistaan puusyiden suuntaan kiilanmuotoisella kappaleella tai toiseksi voidaan ajatella puusyiden irtaantumista toisistaan pituussuunnassa esim. kuivumisen, puun heilumisen tai jonkun muun mekaanisen voiman vaikutuksesta. Tällä tavalla erottaa tämän kirjoittaja: a. puun luonnollisen halkeamisen, jolloin tarkoitetaan viimemainittua tapausta ja b. puun keinotekoisen halkaisemisen, jolloin puhutaan ensinmainitusta tapauksesta.

a. Puun luonnollinen halkeaminen saa pääasiallisesti alkunsa silloin kuin manto menetettyään vettä muuttuu sydänpuuksi. Se saa alkunsa, niin kuin jo edellä on mainittu, useimmiten ytimen lähellä olevista solukerroksista, joissa vuosilusto pituussuunnassa on heikko, joten se helposti katkeaa ja säteensuunnassa halkeama syntyy. Tällaisten halkeamien ei tarvitse olla pitkiä, eikä sattua kohdalleen, joten ne voivat olla puulle vaarattomia. Jos puu on kierokasvuista, jos sen trakeiidit ovat kiinteästi kietoutuneet toisiinsa tai jos sen trakeiidit ovat lyhyitä tai jos ydinsäteet ovat matalat, niin ei tällainen halkeama helposti laajene. Päinvastainen on asian laita, jos on kysymys suorasyisestä, suorasta kudoksesta pitkine ja leveine tai lukuisine ja hienoine ydinsäteineen.

Tällöin halkeama puun heiluessa tuulessa aikaa myöten laajenee ja tulee siksi pitkäksi, että sillä myöhemmin on teknillinen merkityksensä. Tällaisia pitkiä sydänhalkeamia tavataan etupäässä männyllä ja varsinkin ikivanhoissa mäntymetsissä tapaa harvoin puuta, joissa ei tällaisia sydänhalkeamia olisi. Myös pakkanen aikaansaa samantapaisia pinnasta päin alkavia halkeamia ja voivat niitä myös aiheuttaa puhtaasti mekaaniset syyt. Havupuilla ja varsinkin männyllä eivät tällaiset pinnasta päin alkavat halkeamat useinkaan saavuta sellaista karakteristista ulkomuotoa kuin lehtipuilla, joissa ne jäävät näkyviin säteensuuntaisen harjakkeen muotoisena, jonka keskessä halkeama sijaitsee. Havupuussa sitävastoin pakkashalkeama heti täyttyy pihkalla ja seuraava vuosilusto peittää sen tasaisesti, vaikka se myöhemmin taas uudestaan tältä kohtaa katkeaakin. Tämä riippuu osaksi siitä, että havupuussa eivät kosteus, sienet eivätkä myöskään bakteerit pääse tekemään samaa vaikutusta kuin lehtipuussa.

Mutta vaikka havupuussa tällä tavalla näennäisesti pintahalkeama, jota, vaikka se useimmiten onkin pakkasen vaikutuksesta syntynyt, kutsutaan tuulihalkeamaksi, täten jääkin vaikeammin huomattavaksi ja vieläpä usein, varsinkin, koska se tavallisimmin esiintyy vanhassa ja pihkaisessa puussa, paljaalle silmälle näkymättömäksikin, niin on se juuri tästä syystä toiselta puolelta erikoisen haitallinen, sillä käy vaikeaksi arvostella milloin on kysymys todellisesti tarkoitukseen kelpaavasta puutavarasta. Sahauksessa, mutta varsinkin faneeriteollisuudessa tällainen halkeama tuottaa huomattavaa alennusta puun arvossa.

Puiden luonnollista halkeavaisuutta on muuten sangen vähän tutkittu, vaikka siinä suhteessa ehdottomasti oltaisiin tilaisuudessa tekemään sangen arvokkaita havaintoja. Ei ollakaan senvuoksi selvillä siitä, mihinkä järjestykseen puulajit luontaisen halkeavaisuutensa suhteen ovat ryhmitettävät, mutta paitsi edellä olevia seikkoja voidaan puun luontainen halkeaminen tietysti jossain määrin päättää puun ulkomuodosta niin, että suorat ja säännöllisesti kasvaneet puut yleensä, jos ne vahingoittuvat, halkeavat enemmän kuin kierokasvuiset ja mutkaiset puut.

Kun nyt toiselta puolen varsinkin havupuufaneeriksi halutaan juuri suorarunkoisia ja oksattomia puita, niin huomataan, että puun luontaisella halkeavaisuudella on huomattava merkitys juuri tässä suhteessa. Hyvä luontainen halkeavaisuus ei siis esim. faneeripuuta valittaessa eikä myöskään sahateollisuudessa ole mikään toivottava ominaisuus.

b. K e i n o t e k o i n e n h a l k e i l e v a i s u u s, jota on myöskin kutsuttu halkaisulujuudeksi (saks. s p a l t f e s t i g k e i t), edellyttää kii-

lanmuotoisen kappaleen tai jonkun muun työvälineen, joilla puusyyt toisistaan erotetaan. Ensimmäinen, joka tutki puun halkeilevaisuutta, oli NÖRDLINGER. Hän antoi tehdä puusta 2-haarukanmuotoisia kappaleita sekä kokeili halkeilevaisuutta konstruoimallaan koneella. Tällä tavalla voitiinkin luonnollisesti laatia vissi asteikko puiden halkeilevaisuudelle, mutta toiselta puolen on mainittava, ettei käytännössä milloinkaan puuta tällä tavalla halkaista. NÖRDLINGER halkaisi puun vähitellen lisäämällä halkaisevaa voimaa, mutta käytännössä halkaiseminen päinvastoin tapahtuu äkillisen voiman avulla. Selvää on siis, että NÖRDLINGER'in tutkimukset eivät anna käsitystä siitä, kuinka puu esim. halonhakkuussa, puuseppäteollisuudessa j.n.e. halkeaa.

NÖRDLINGER tutki yllämainitulla tavalla useiden puulajien halkeamista sekä säteen että ydinsäteen suunnassa ja sekä kuivassa tuoreessa että puolituoreessa tilassa. Mainittakoon, että NÖRDLINGER jakoi puut 8 luokkaan, nim. 1. erikoisen vaikeasti halkeavat puut: mantelipuu, plataani, veikselpuu (Prunus mahaleb), pihlaja, 2. sangen vaikeasti halkeavat: valkopyökki, orapihlaja, koivu, robinia, jalava, 3. vaikeasti halkeavat: useat vaahteralajit, saarni, kataja ja Quercus cerris, 4. jonkun verran vaikeasti halkeavat: balsamikuusi, ameriikalainen saarni, Pinus laricio austriaca, 5. verrattain helposti halkeavia: Castanea vesca, Cupressus sempervirens, Juglans nigra ja Larix europaea, 6. helposti halkeavat: harmaa leppä, pähkinäpensas, mänty, haapa, tavallinen tammi, pajut ja lehmus ja 7. sangen helposti halkeavat: hopeakuusi, kuusi, strobusmänty sekä 8. erikoisen helposti halkeavat: hopeapoppeli ja kanadalainen poppeli (Populus molinifera).

Myöhemmin on RUDELOFF käyttänyt samaa tutkimustapaa tutkiessaan männyn halkeavaisuutta. Varsinaisesti on halkeilevaisuutta kuitenkin tutkinut EXNER, joka määritteli halkeavaisuuden sen voiman perusteella, joka tarvittiin määrätynlaatuisen kiilan iskemiseen puuhun, jotta puu halkeaisi. EXNER'in tutkimukset ovat kuitenkin verrattain vähäpätöiset, joten toistaiseksi ei löydy tarkempia tutkimuksia tähän tapaan tehtyinä, ellei sellaisiksi lueta JANKA'n tutkimuksia, joissa tutkimuksiin käytettiin kirvestä. JANKA teki tutkimuksensa kuitenkin aivan toisessa tarkoituksessa, nim. puun kovuuden selvittelemiseksi, joten toistaiseksi ei ole olemassa muita numeroita kuin ne, joita on saatu kansainvälisen aineenkoetuslaitoksen metoodien mukaan tehdyillä tutkimuksilla, joissa määrätty halkeavaisuus taas suunnilleen vastaa NÖRDLINGER'in tapaan määrättyä halkeavaisuutta. Tästä syystä onkin puun halkeavaisuutta arvosteltaessa osaksi myös turvauduttava käytännössä saavutettuihin

kokemuksiin ja ottaen tähänastiset tutkimukset ja kokemuksen huomioon, voidaan halkeilevaisuuden sanoa riippuvan seuraavista seikoista: aa. voiman suunnasta vuosirenkaisiin nähden, bb. puun kovuudesta, cc. puun vesipitoisuudesta, dd. siitä, mistä osasta puuta koekappale on otettu, ee. puun lämpötilasta, ff. puun asemasta metsikossa, gg. puun ominaispainosta, hh. puun anatoomisesta rakenteesta ja ii. käytetyn työkalun muodosta.

aa. Halkaisemisesta voidaan luonnollisesti puhua ainoastaan ydinsäteiden tai tangentin suuntaan. Yleensä on puu vaikeampi halkaista tangentin suuntaan ja helpompi ydinsäteiden suuntaan, helpottaen halkeamista leveät tai taajassa olevat kapeatkin ydinsäteet. Ero tässä suhteessa ei kuitenkaan ole erittäin suuri, jos halkaiseminen toimitetaan siihen tapaan kuin aineenkoetuslaitoksessa. Varsinkin pihkapitoisissa puulajeissa voi ero tässä suhteessa olla hyvin pieni ja voipa halkeaminen molempiin edellä mainittuihin suuntiin tapahtua jokseenkin yhtä helposti.

bb. Puun kovuuden vaikutus tässä suhteessa on sangen epäselvä. Jos ajatellaan kiilanmuotoisella kappaleella, esim. kirveellä halkaisemista, niin estää luonnollisesti suurempi kovuus teräasetta aluksi tunkeutumasta puuhun. Mutta toiselta puolen taas on selvää, että aivan äärimmäisen pehmeä puu ei halkea juuri ensinkään, joten siis myös alhainen kovuusaste vähentää halkeavaisuutta. Voidaan ehkä yhtyä NÖRDLINGER'iin ja sanoa, että koko halkeavaisuus-käsitteen edellytyksenä on vissi kovuus.

cc. Yleensä on väitetty, että useimmat puulajit halkeaisivat vaikeammin kuivina kuin tuoreina. Tämän väitteen esittää m.m. NÖRDLINGER. Näin onkin asian laita, jos halkeavaisuutta tutkitaan NÖRDLINGER'in mainitsemaan tapaan, mutta jos ajatellaan tavallista kirves- ja kiilahalkaisua, niin voidaankin sanoa, että aina meidän tavallisimmat puulajimme, mänty, kuusi ja koivu halkeavat kuivina helpommin kuin tuoreina. Sitävastoin halkeaa esim. valkopyökki helpommin tuoreena, ja yleensä ovat kaikki puulajit vaikeimmat halkaista silloin kuin ne eivät vielä ole aivan täydellisesti saavuttaneet ilmakuivan puun kosteusastetta. Useimmiten halkeavat kovat puut helpoimmin heti kaadon jälkeen.

dd. Tyvestä latvaan päin lisääntyy halkeavaisuus, kunnes puun oksainen osa saavutetaan, jotavastoin latvusosassa halkeavaisuus on puun oksaisuuden vuoksi pienempi kuin tyvessä. Mainittakoon erityisesti, että jos oksaista puuta on halkaistava, niin meikäläinen havupuu

halkeaa helpommin, kun kirveen isku tapahtuu tyvestä latvaan päin, jotavastoin lehtipuissa asianlaita on päinvastainen. Sydänpuu halkeaa lehtipuissa helpommin kuin pintapuu. Havupuissa taas on tässä suhteessa vaikea antaa mitään selvää lakia. Jos on kysymys havupuista, joilla on pieni pihkapitoisuus, niin pintapuuosat halkeavat jo vuosilustojensa säännöllisemmän rakenteenkin vuoksi helpommin kuin sydänpuuosat, mutta toiselta puolelta vähentää pintaosien halkeilevaisuutta usein se, että vuosilustot tulevat ohuemmiksi ja rakenteeltaan lujemmiksi pintaan päin. Jos taas on kysymys pihkapitoisista havupuista, niin on huomattava, että pihkapitoisuus vähentää halkeavaisuutta ja senvuoksi voivat sydänpuuosat usein tällaisissa puissa olla vaikeammin halkeavia kuin pintapuuosat.

ee. Lämpötilasta riippuu puun halkeilevaisuus seuraavasti. Jos puun lämpötilaa kohotetaan ilman, että puun kosteusmäärä samalla kertaa vähenee, osottavat kokeet yleensä, että halkeilevaisuus lisääntyy lämpötilan kohotessa, vaikkei tarkempia tutkimuksia olekaan olemassa siitä, missä määrin tämä tapahtuu. Jos taas puu jäätyy, niin puun vesipitoiset osat, varsinkin siis pintapuu, menettävät halkeilevaisuutensa kokonaan ja lohkeilevat kuin lasi ja tällöin ei siis esim. kiilan ja kirveen tapainen työkalu tunkeudu puuhun. Myös tämä ilmiö on toistaiseksi tutkimaton.

ff. Puun asema metsikossa. Jos verrataan toisiinsa esim. samankokoista varjossa kasvanutta puuta ja harvassa metsikossa kasvanutta puuta, niin halkeavat yleensä hento-oksaiset varjossa kasvaneet puut helpommin kuin oksaiset ja valossa kasvaneet. Jos sitävastoin tutkitaan oksatonta puukappaletta, jossa on leveät vuosilustot ja oksatonta puukappaletta, jossa on kapeat vuosilustot, niin ei erikoisesti huomattavaa eroa ole olemassa. Yleensä ei ole tutkittu sitä seikkaa, mitä vuosilustojen leveys vaikuttaa halkeilevaisuuteen, mutta esim. koivuun nähden voidaan sanoa, että yleensä leveävuosilustoinen koivu halkeilee vaikeammin kuin kapeavuosilustoinen.

gg. Puun ominaispaino vaikuttaa ainoastaan välillisesti halkeilevaisuuteen. Tämä seikka on myös tutkimaton, ainoastaan SCHUBERT on esittänyt sen otaksuman, että puu halkeaisi sitä helpommin mitä keveämpää se on, jotavastoin NÖRDLINGER'in tutkimukset osottavat, ettei painolla ole suoranaisesti merkitystä halkeilevaisuuteen, vaikkakin useimmiten raskaat puulajit ovat vaikeita halkaista.

hh. Puun anatoominen rakenne. Tässä suhteessa voidaan ensinnäkin panna merkille ydinsäteiden vaikutus halkeamiseen,

josta jo on puhuttu. Mitään varmaa merkitystä ei ydinsäteellä tässä suhteessa kuitenkaan ole. Jos seurataan sellaisten puulajien halkeamista, joilla on leveät ydinsäteet tai valkeydinsäteet (esim. tammi), niin huomataan, että luonnollisetkin halkeamat melkein aina seuraavat ydinsäteitä ja että halkaiseminen ydinsädettä myöten on aina helpoin. On kuitenkin huomattava, että yhden ainoan leikkauspinnan tutkimisella ei tässä suhteessa olekaan suurta merkitystä. Itse ydin kulkee jonkunverran spiraalissa ja senvuoksi eivät ydinsäteet yleensä ole riveissä päälletysten vaan paremminkin ruuvipinnan tavoin sijoitettuina, joten itseasiassa puun »ydinsäteen suuntaan» haljetessa halkeama usein kohtaakin ainoastaan aniharvoja ydinsäteitä. Tästä syystä jääkin ydinsäteiden merkitys halkaisemiselle paljon pienemmäksi kuin yleensä otaksutaan ja voidaan yleensä sanoa, että suorakasvuinen ja pitkäsyinen puu halkeaa parhaiten.

ii. Työkalun muoto vaikuttaa halkeilevaisuuteen m.m. siinä, että kovia puulajeja halkaistaan edullisimmin kapeilla ja terävillä kiiloilla, jotavastoin pehmeille puulajeille on käytettävä paksuja ja tylsäkärkisiä kiiloja.

Puun halkeilevaisuudella on suuri käytännöllinen merkitys useimmille puuteollisuuden haaroille, mutta siitä huolimatta on se ominaisuus, jota on sangen vähän tutkittu ja jonka tutkimuksen suhteen ei edes ole päästy vakiintuneisiin menettelytapoihin.

Käytettyä kirjallisuutta:

Aragon, E.: Résistance des Matériaux, Appliquée aux construction. Paris, Dunoud, 1925.

Bauschinger, J.: Einige Resultate über die Festigkeit von Bauhölzern. (Forstwissenschaftliches Zentralblatt, 1879.)

— Mitteilungen aus dem mechanisch-technischem Laboratorium der königl. technischen Hochschule zu München. Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit verschiedener Nadelhölzer. IX Heft. München, 1883 und XIX Heft. München 1887.

Betts, Harold S.: Timber, its strength, seasoning and grading. New-York 1919.

Bergeron, L.: Calcul des charpentes d'après les méthodes nouvelles e.t.c. Paris 1925.

Brown, Nelson C.: An Analysis of Durability. Hardwood Record. March 25. 1913.

Bühler: Untersuchungen über die Qualität des im lichten und im geschlossenen Stand erwachsenen Fichtenholzes. (Schweizerisches Zeitschrift für das Forstwesen 1889.)

Bäsgen, M.: Zur Bestimmung von Holzhärten. (Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 1904.)

Cicslar, A.: Das Rotholz der Fichte. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen 1896.)

CLINE, GARVEY, MC, HEIM, A. L.: Tests of Structural timbers. Washington 1912. Forests Products Laboratory Series. Bulletin 108.
DONNER: Die harte und weiche Seite der Kiefer. (Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, 1875.)
ENEROTH, O.: Vedens byggnad och egenskaper. (Handbok i Skogsteknologi.) Stockholm 1922.
ENEROTH, O.; KINNMAN, G.: Vedens hållfasthet. (Handbok i Skogsteknologi.) Stockholm 1922.
EXNER, W. F.: Versuch einer Theorie der Spaltfestigkeit und der Spaltwerkzeuge. Wien.
FERNOW, B. E.: Vergleichung der Druckfestigkeit deutschen und amerikanischen Kiefernholzes. (Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 1898.)
GAYER, K.: Untersuchungen über die Festigkeit der einheimischen Nadelhölzer. (Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 1887.)
HADEK, A.; JANKA, G.: Untersuchungen über dieElastizität und Festigkeit der oesterr. Bauhölzer. I Fichte Südtirols. Wien 1900.
HAMPEL, L.: Die Härte einiger Holzarten. (Centralblatt für das Gesammte Forstwesen 1882.)
HARTIG, R.: Das Rotholz der Fichte. (Forstlich naturwissenschaftliche Zeitschrift 1896.)
JANKA G.: Die Härte des Holzes. (Centralblatt für das Gesammte Forstwesen 1906.)
— Ueber Holzhärteprüfung. (S:moin 1908.)
— Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit der oesterr. Bauhölzer. II. Fichte von Nordtirol, vom Wienerwalde und Erzgebirge. Wien 1904.
— III Fichte aus den Karpathen, aus dem Böhmerwalde, Ternovanerwalde und Zentralalpen. Wien 1909.
JENNY: Untersuchungen über die Festigkeit der Hölzer aus dem Ländern der ungarischen Krone. I Heft. 1873.
KAYGORODOFF, D.: L'appareil pour mesurer la dureté des bois. St. Petersburg. 1878.
KENNEDY, ALEXANDER BLACKIE WILLIAM: The Use and Equipment of Engineering Laboratories. London 1887.
LANDOLT: Prüfung der Festigkeit und Elastizität der Bauhölzer. (Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen 1884.)
LARIS, EUGEN: Rohholzgewinnung und Gewerbseigenschaften des Holzes. (Chem. techn. Bibliotek.) Wien und Leipzig 1909.
MIKOLASCHEK, KARL: Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit der wichtigsten Bau- und Nutzhölzer Böhmens. Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Oesterreichs. Band II, Heft I. Wien 1879.
NEWLIN, J. A.; WILSON, THOMAS R. C.: Mechanical properties of Woods grown in the U.S.A., Washington 1917.
NÖRDLINGER, H.: Druckfestigkeit des Holzes. (Centralblatt für das gesammte Forst- und Jagdwesen 1882.)
— Festigkeit der Hölzer zu verschiedenen Jahreszeiten. (Zeitschrift der Gesammte Forstwesen 1880.)
— Grösserer Tagkraft im Lichstande erwachsenen Föhrenholzes. (Centralblatt für das Gesammte Forstwesen 1879.)

NÖRDLINGER, H.: Zug-, Druck- und Beugungsfestigkeit der Hölzer. (Centralblatt für das Gesammte Forstwesen 1887.)
— Zug- und Säulenfestigkeit von Weymouthföhre. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen 1877.)
— Säulenfestigkeit der Fichte und Lärche in der Richtung der Faser. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen 1877.)
RABOZÉE, H.: Cours de connaissance des materiaux. Tome I. Les métaux et les bois. Paris, Dunoud, 1925.
RECORD, SAMUEL J.: Mechanical properties of wood. New-York 1917.
RUDELOFF, M.: Bericht über die im Auftrage des Herrn Ministers für Landwirtschaft, Domänen und Forsten ausgeführten Holzuntersuchungen. Berlin 1889.
SCHWAPPACH, A.: Amerikanische Untersuchungen über technische Eigenschaften des Holzes. (Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 1899.)
— Untersuchungen über Raumgewicht und Druckfestigkeit des Holzes wichtiger Waldbäume . . . I Kiefer. Berlin 1897, II Fichte, Berlin 1898.
— Vergleichung der Druckfestigkeit deutschen und amerikanischen Kiefernholzes. (Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 1898.)
STAHL, R.: Die sogenannte Hartseitigkeit des Holzes. (Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 1880.)
TETMAJER, L.: Methoden und Resultate der Prüfung der schweitzerischen Bauhölzer. 1883.
VESPERMAN, H.: Bauhölzer und ihre Verbreitung im Welthandel. Leipzig und Berlin 1914.
WINN, WREN: Timber and their uses. London 1919.

D. Puun johtokyky.

Puun johtokykyä on tutkittu lämpöön, ääneen ja sähköön nähden.

1. Puun lämmönjohtokykyä

on ensimmäiseksi tutkinut prof. Knoblauch. Tutkimukset suoritettiin seuraavalla tavalla: Valmistettiin puulevyjä, jotka olivat leikatut yhdensuuntaisesti ydinsäteiden kanssa. Näihin porattiin kohtisuora reikä. Tämän jälkeen päällystettiin levyt mahdollisimman tasaisella stearinikerroksella. Reijän läpi vedettiin sen täyttävä metallilanka, joka koko ajan pidettiin kuumana ja akselinsa ympäri kiertävässä liikkeessä. Stearriini alkoi sulaa elipsinmuotoisina kuvioina, joissa pisin akseli puusyynsuuntaisessa leikkauksessa oli puusyiden pituussuuntaan. Tällä tavalla voitiin akselien pituuden perusteella määrätä, kumpaan suuntaan, puusyiden pituus- tai poikkisuuntaanko lämmönjohtokyky oli suurempi ja kuinka lämmönjohtokyvyt kummassakin suunnassa suhtautuivat toisiinsa. Lämmön johtokyky oli yleensä suurempi puusyiden pituussuuntaan; ja merkitsemällä lämmön johtokykyä poikkisuuntaan 1:llä ja laskemalla tämän perusteella suhteellinen arvo johtokyvylle pituussuunnassa, saatiin suhdelukuja, joiden perusteella puut voitiin luokitella sopiviin luokkiin. Näistä mainittakoon seuraavat:

I	1 : 1.25	Pockenholz, Robinia, puksipuu.
II	1 : 1.45	Vaahtera, pyökki, valkopyökki, saarni, syreeni, tammi, jalava, mahonki y.m.
III	1 : 1.60	esim. siperialainen hernepuu.
IV	1 : 1.80	Kuusi, koivu, mänty, strobus-mänty, haapa, pajut, lehmus j.n.e.

Knoblauch'in koe oli monessa suhteessa puutteellinen, mutta jo sen kautta tulivat puulajit lämmönjohtokykyynsä nähden verrattain oikein jaetuiksi. Jos yllä olevat luokat nim. numeroidaan siten kuin yllä on

tehty, edustaa luokka I parhaiten lämpöä johtavia puita ja luokka IV huonoimmin. Minkälaista, kuivaa, tuoretta, huonekuivaa j.n.e. puuta KNOBLAUCH on käsitellyt, ei selviä hänen selostuksistaan. Absolutisina lukuina eivät hänen lukunsa myöskään pidä paikkaansa.

Oikeista luvuista antavat jonkun käsityksen seuraavat:

mänty: (DUFF'in mukaan):
syitä vastaan kohtisuoraan ... 1.0
syiden suuntaan 3.0
» (BARRATT'in mukaan)
syitä vastaan kohtisuoraan ... 1.0
syiden suuntaan 3.3
» (ENEROTH'in mukaan)
syitä vastaan kohtisuoraan ... 1.0
syiden suuntaan 3.3

Lämmönjohtokyky on siis huomattavasti pienempi poikin syitä kuin niitä pitkin. Tällä seikalla on käytännöllinen merkitys tehtäessä esim. kädensijoja sellaisiin metalliesineihin, jotka pidetään kuumina, esim. silitysrautoihin, pajatyökaluihin j.n.e. Tämä seikka selittää myös faneerin pienen lämmönjohtokyvyn kaikkiin suuntiin.

Puun pienestä lämmönjohtokyvystä antavat myös jonkunlaisen käsityksen MADISON-laboratoriossa ratapölkyillä tehdyt kokeet. KOEHLER'in mukaan täytyi ratapölkkyjä (mittoja ei ole mainittu) lämmittää kyllästetyssä vesihöyryssä 5—8 tuntia 20—40 naulan paineen alaisina ennenkuin ne saavuttivat keskeltä saman lämpötilan kuin pinnaltakin.

Puun huono lämmönjohtokyky antaa puulle suuren arvon käytännössä. Siihen perustuu puun käyttö rakennuksiin, kellareihin, osaksi pakkauksiin, tulitikuiksi j.n.e. Tutkimukset ovat kuitenkin tällä alalla sangen alullaan ja esim. faneerin lämmönjohtokyky on vielä toistaiseksi lopullisesti tutkimatta.

2. Puun kykyä johtaa ääntä

on myös sangen vähän tutkittu. Myös tällä alalla on KNOBLAUCH tehnyt ensimmäiset tutkimukset. Niissä hän käytti hyväkseen edellämainittua luokittelua puun lämmönjohtoon nähden. Hän valmisti kustakin puulajista koetankoja, joiden äänenjohtokykyä hän kokeili ääniraudan avulla. Miten kokeet muuten suoritettiin, ei hänen esityksestään lähemmin selviä.

Jokatapauksessa mainitsee KNOBLAUCH tulleensa siihen tulokseen, että ne puut, jotka parhaiten johtavat lämpöä, johtavat myös parhaiten ääntä ja että äänenjohtokyky on suurempi puusyiden pituus- kuin poikkisuunnassa.

KNOBLAUCH'in mielestä on puun äänen-johtokyvyllä suuri merkitys puun laadun arvostelemisessa. Käytännössähän arvostellaan puun vikoja esim. sen äänen perusteella, jonka puu antaa sitä esim. kirveenhamaralla iskettäessä. Mutta KNOBLAUCH meni vielä pitemmälle. Sen jälkeen kuin hän oli todennut puun lämmönjohtokyvyn ja puun sähkönjohtokyvyn analogisuuden, tutki hän määrittelemiensä lämmönjohtokykyä osottavien lukujen suhdetta puun taipuvaisuuteen, jonka viimemainitun määräämisessä hän ei kuitenkaan käyttänyt luotettavaa tapaa. Hän tuli siihen johtopäätökseen, että pieni lämmönjohtokyky vastaa pientä taipuvaisuutta ja että luonnollisesti huono äänenjohtokykykin voidaan pitää tässä suhteessa mekaanillis-teknillisiltä ominaisuuksiltaan vähempiarvoisen puun merkkinä.

Selvää on, että KNOBLAUCH meni otaksumissaan liian pitkälle, ja sitäpaitsi hän jätti tutkimuksissaan kokonaan huomioonottamatta puun vesipitoisuuden merkityksen puun sekä äänen että lämmönjohtokykyyn nähden, joten hänen tutkimuksensa ovat monessa suhteessa jääneet epäpäteviksi. Mutta joka tapauksessa on KNOBLAUCH tuonut esille ajatuksia, jotka ovat tutkimuksenarvoisia ja joiden pohjalla varsinkin nykyisiä apuneuvoja käyttäen voidaan saada paljon aikaan. Puun tutkiminen »stetoskoopilla» on varmasti tulevaisuuden näköala sekin ja sopivien sääntöjen laatiminen tällä alalla on varmasti yksi metsäteknologisen tutkimuksen läheisen tulevaisuuden tehtäviä.

Hyvää äänenjohtokykyä sinänsä ei suinkaan, kuten KNOBLAUCH on otaksunut, voida pitää minään toivottavana puun ominaisuutena. Päinvastoin asetetaan kaikille rakennusaineille se vaatimus, että ne johtaisivat mahdollisimman vähän ääntä.

Lämmön- ja äänenjohtokyvyllä on kuitenkin yhteiset ilmiönsä niinkuin KNOBLAUCH väittää ja hänen ansiokseen voidaankin lausua se, että hän on ensin todennut, että puun äänenjohtokyky on pienempi puusyiden poikki- kuin pituussuuntaan ja että yleensä kova ja raskas puu johtaa paremmin lämpöä ja ääntä kuin keveä ja pehmeä. Tällä on lausuttu jokseenkin sama seikka kuin BARRATT'in lausumalla säännöllä, että puun lämmönjohtokyky on kääntäen verrannollinen sen huokosten kuutioon.

3. Puun kykyä johtaa sähköä

on sangen vähän tutkittu. Senverran tiedetään (Mayr, Koehler y.m.), että puu on huono sähköjohtaja. Jos on kysymys virroista, joiden volttimäärä on pieni, niin voidaan puuta pitää isolaatorina. Tämä pitää paikkansa ainakin keveisiin puulajeihin nähden ja yleensä voidaan sanoa, että keveät puulajit johtavat sähköä huonommin kuin raskaat. Mutta tässä suhteessa ei luokittelu kuitenkaan ole läheskään yhtä selvä kuin esim. puiden lämmön- ja äänenjohtokykyyn nähden. Niinpä onkin poikkeuksia sangen paljon. Verrattain huonoja sähkönjohtajia ovat esim. pockenholz ja ebenholz ja monet muut raskaat puulajit. Mänty on huonompi sähkönjohtaja kuin hopeakuusi j.n.e.

Ne kokeet ja tutkimukset, joita tällä alalla on tehty Madison-laboratoriossa, ovat osottaneet, että puun paino sekä samalla puun rakenteen tiheys, (tiheät vuosirenkaat, pienet solut) merkitsee yleensä hyvää sähkönjohtokykyä, jotavastoin päinvastaiset ominaisuudet merkitsevät huonoa. Edelleen on todettu, että kosteus lisää puun sähkönjohtokykyä. Samoin lisäävät sähkönjohtokykyä eräät metalliset impregnoimisaineet, esim. sinkkikloridi ja kuparisulfaati.

Puun sähkönjohtokykyä taas vähentävät seuraavat seikat: puun impregnoiminen öljymäisillä aineilla (kivihiiliterva, kreasootiöljy), puun siveleminen öljyväreillä, tervalla j.n.e. Sama vaikutus on luonnollisesti puussa itsessään löytyvillä öljyillä ja samaten vähentävät myös hartsit ja pihka puun sähkönjohtokykyä.

Käytännöllisenä johtopäätöksenä yllä olevista tutkimuksista voitanee tässä yhteydessä mainita, että esim. metalli-suolaliuosten käyttö korkeajännitysjohtojen impregnoimisaineina on hyljättävä, sillä etenkin sade-ilmoilla voivat tällaiset pylväät käydä hengenvaarallisiksi. Yleensäkin on jo vaarallista sade-ilmalla koskettaa korkeajännitys-johtopylvästä.

Puun sähköjohtokyvyn tutkimuksella on suurempi käytännöllinen merkitys kuin yleensä edellytetään. Täydellisesti tehokkaiden puisten isolaatorien aikaansaaminen on yksi tulevaisuuden tärkeämpiä tehtäviä sähköalalla, sillä puiset isolaatorit ovat keveitä, niitä voidaan verrattain helposti muovailla haluttuun muotoon eikä niitä voida yhtä helposti särkeä kuin esim. lasisia isolaatoreita, sitäpaitsi on puisen isolaatorin kiinnittäminen seinään, pylvääseen j.n.e. helpompi kuin lasisen. Hyvin suuri isoleeraava kyky on pihkaisten tai rasva-aineita sisältävien puiden kesäpuulla ja senvuoksi onkin kokeiltu tämän erottamista erilleen

hienona faneerilevynä sekä tällaisten levyjen kiinnittämisellä toisiinsa sopivaa eristyspuuaineen aikaansaamiseksi.

Mutta myös toisessa suhteessa, jonkun esimerkin mainitaksemme, voi puun huonosta lämmönjohtokyvystä olla hyötyä. Ajatellaan, että puu on tehty sellaiseksi, ettei se pala korkeissa lämpömäärissä. Tällöin on hyvin edullista sähkövirran avulla lämmittää puulevyjä ja käyttää täten lämmitettyjä levyjä hyväkseen esim. lämpökaapeissa, sillä ne säilyttävät kauan lämpönsä.

Käytettyä kirjallisuutta:

BARRATT, T.: Thermal conductivity. Proceedings Physical Society of London, vol. 27 1914.

DUFF, A. W.: Textbook of Physies 1910.

ENEROTH, O.: Op. cit.

KNOBLAUCH, H.: Die Wärmeleitungsfähigkeit des Holzes. Die Kunst- und Gewerbeblatt 1858.

— Die Wärme- und Tonleitungsfähigkeit des Holzes. Poggendorf's Annalen 1858, N:o 12.

IV. Yleissilmäys puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tähänastiseen tutkimukseen sekä tutkimuksen tehtäviin lähitulevaisuudessa.

Siitä huolimatta, että puun mekaanillis-teknillisiä ominaisuuksia on jo vuosisadat tutkittu, on tällä alalla paljon ratkaisemattomia kysymyksiä. Toiselta puolen taas on tutkimustyön kautta tällä alalla saavutettu monessa yleistä luontoa olevassa seikassa sangen johdonmukainen varmuus.

Tässä suhteessa on mainittava, että, kuten edellä on selvinnyt, DUHAMEL DU MONCEAU ja NÖRDLINGER jo pääpiirteissään määrittelivät puiden ominaisuudet. Tämän jälkeen esiintyi niistä useampia järjestelmiä, jotka pääasiassa olivat yhtäpitäviä NÖRDLINGER'in järjestelmän kanssa. Näistä järjestelmistä on edellä täydellisyyden vuoksi mainittu EXNER'in järjestelmä.

EXNER'in järjestelmää lähellä on amerikalaisen KOEHLER'in järjestelmä, jonka tekijä asettaa tavallaan esityksensä pohjaksi. Tekijä esittää kuitenkin samalla oman määritelmänsä siitä, mitä puun mekaanillis-teknillisillä ominaisuuksilla tarkoitetaan, nim. sen, *että puun mekaanillis-teknillisillä ominaisuuksilla ymmärretään niitä teknillisesti merkityksellisiä puun ominaisuuksia, joiden toteaminen tapahtuu pääasiallisesti mekaanista tietä.*

Tämän jälkeen toteaa tekijä, että puiden ominaisuuksien jaoitus usein on johtanut tautologiaan, niin että esim. sellaiset ominaisuudet kuin sitkeys, notkeus, halkeilevaisuus, kovuus y.m. ovat käsitellyt eri ominaisuutena kuin lujuus, vaikka ne selvästi ovat puun lujuusominaisuuksia. Myös muiden ominaisuuksien suhteen voidaan todeta samaa, joten tekijä on sitä mieltä, että on oikeampaa ja johdonmukaisempaa supistaa puun ominaisuuksien käsittely mahdollisimman harvoihin päälajeihin. Tällä tavalla erottaa tekijä ainoastaan neljä puhtaasti mekaa-

nillis-teknillistä puun ominaisuutta, nim. 1) puun painon, 2) puun vesipitoisuuden, 3) puun lujuuden ja 4) puun johtokyvyn. Tämän jaoituksen suhteen on nimenomaan huomattava, että se käsittää puhtaasti mekaanisella tavalla todettavat ja tutkittavat ominaisuudet. Siitä on siis esim. poissa kiilto, sillä se riippuu kemiallisesti todettavista seikoista ja samoin väri, jonka suhteen myös voidaan sanoa samaa. Edelleen on huomattava, että jaoitus käsittää ainoastaan tärkeimmät ja parhaiten tunnetut ominaisuudet, joten sen laajentaminen joka tapauksessa on edellytetty. Tekijä väittää kuitenkin, että hänen erottamansa mekaanillis-teknilliset ominaisuudet muodostavat luonnollisen kokonaisuuden m.m. sen perusteella, että niiden voidaan todeta riippuvan pääasiallisesti samoista seikoista.

Ne seikat taas, joista puiden mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien on todettu riippuvan, ovat pääasiallisesti seuraavat:

a Puun maantieteellinen levenemisalue, erittäinkin maanosa.
b. Puun horisontaalinen leveneminen.
c. Puun vertikaalinen leveneminen.
d. Puulaji.
e. Kasvupaikka (maan laatu).
f. Puun asema metsikossa.
g. Koekappaleen asema puussa.
h. Puun anatoominen rakenne.
i. Puun viat.
j. Puun ikä.
k. Puun kaatoaika (vuoden aika, vuorokauden aika).
l. Puun käsittely (kuivuus, kuoriminen, uitto j.n.e.).
m. Ilman kosteus.
n. Maan kosteus.
o. Puun väriaine- ja hartsipitoisuus.
p. Puun elintoiminnat (haihtumisvirtaukset y.m.).
g. Puuta ympäröivän ilman lämpötila.
r. Puun lämpötila.
s. Toisten kasvien ja eläinten mekaaninen vaikutus.

Näiden lisäksi on vielä mainittava ilmanpaine, jonka vaikutukseen ei edellisessä tosin ole viitattu, vaan jonka vaikutuksen, esim. puun uppoamiseen nähden, DUHAMEL DU MONCEAU ja DALIBARD ovat todenneet.

Se, että kutakin puun ominaisuutta edellisessä käsiteltäessä ei ole todettu, miten kukin ylläolevista seikoista siihen vaikuttaa, riippuu siitä, että tutkimuksia ei kaikkiin näihin seikkoihin nähden vielä ole läheskään tehty.

Ylläolevilla seikoilla on siis merkitystä puiden mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin ja tekijän mielestä onkin yksi lähitulevaisuuden tärkeimmistä tehtävistä metsäteknologisen tutkimuksen alalla todeta, miten kukin näistä tekijöistä niihin vaikuttaa.

Yleisesti voidaan niiden suhteen mainita seuraavaa:

a. Puun maantieteellinen leveneminen, erittäinkin maanosa vaikuttaa tavalla, jonka syitä ei ole voitu selittää, puun mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin. Esimerkkinä tästä voitaisiin mainita europalaisten ja amerikalaisten puulajien ominaisuuksien suhde toisiinsa. Niinpä ne amerikalaiset puulajit, jotka lähinnä muistuttavat jotain europalaista puulajia, yleensä osottavat hieman erilaisia ominaisuuksia kuin ne. Niinpä ovat esim. amerikalaiset puulajit keveämpiä kuin vastaavat europalaiset (pyökit, tammet, jalavat, lehtikuuset, lepät, kuuset y.m.), niin että mänty on melkein ainoa puulaji, jonka ominaispaino molemmissa maanosissa on miltei sama. Lujuusominaisuuksien suhteen taas tämä vertailu jäi epävarmaksi m.m. sen vuoksi, että kokeet ovat suoritetut eri olosuhteissa (erilaiset koekappaleet, eri vesipitoisuus j.n.e.), mutta yleensä näyttää siltä kuin amerikalaisten puulajien lujuusominaisuudet pienestä painostaan huolimatta ylittäisivät europalaisten (pääasiallisesti keskieuropalaisten) puiden vastaavat ominaisuudet.

b. Puun horisontaalinen leveneminen ei ole sama asia kuin edellämainittu, sillä ne amerikalaiset puulajit, joita edellä on verrattu europalaisiin, ovat voineet olla suunnilleen samoilta leveysasteilta. Horisontaalisen levenemisen vaikutuksesta on Mayr lausunut optimilakinsa. Mikä on jonkun puulajin optimum, on Mayr'ilta jäänyt määrittelemättä. Optimum voi olla esim. se alue, jossa puulaji jollain tyypillä vississä ijässä ollessaan ja vissillä tavalla hoidettuna saavuttaa suurimman kuutiomäärän hehtaarilla, se voi olla se alue, jossa puulaji saavuttaa suurimman pituutensa (esim. suurimman valtapuiden pituuden), se voi olla myös se alue, jossa joku puulaji saavuttaa suurimman siemensadon tai parhaiten luontaisesti uudistuu. Jos esim. tarkastetaan puun ominaispainotutkimuksia, niin huomataan, että esim. suomalaisten ja saksalaisten puiden (sama puulaji) painot eroavat sangen vähän toisistaan (koivu Saksassa on keveämpää). Jos taas verrataan suomalaisten ja venäläisten puiden painoja toisiinsa, niin huomataan, että Pohjois-Venäjällä samat

puulajit ovat yleensä raskaampia kuin Suomessa. Huomattavasti raskaampaa on lehtikuusi, mutta myös männyn ja kuusen paino on Venäjällä suurempi kuin Saksassa ja Suomessa. Ainakin mänty ja kuusi saavuttavat Saksassa suurempia kuutiomääriä ja suurempia pituuksia kuin Venäjällä. Näin ollen näyttäisi ensi silmäyksellä siltä kuin MAYR'in optimiteoria ei tässä suhteessa pitäisi paikkaansa. Mutta tosiasiassa onkin mainituilla puulajeilla, varsinkin lehtikuusella, Venäjällä optimum'insa vississä merkityksessä nim. siinä, että puut siellä, varsinkin lehtikuusi, saavuttavat kauneimman runkomuotonsa.

Metsäteknologisen tutkimuksen nykyisellä kannalla ollen ei yllämainitun optimum-lain suhteen luonnollisesti voida mitään varmaa sanoa, mutta tekijä rohkenee lausua sen otaksuman, että tässä tapauksessa on optimum'illa ymmärrettävä sitä leveysastetta, jossa puu saavuttaa kauneimman runkomuotonsa ja jossa jonkun puulajin muodostamasta metsikosta saadaan suurin kuutiomäärä oksatonta runkopuuta hehtaaria kohti.

c. Puun vertikaalisen levenemisen vaikutus puun ominaisuuksiin on toistaiseksi jäänyt tutkimatta. Selvää on, että sitä voidaan tutkia ainoastaan silloin kuin vuoristo ja laakso ovat lähellä toisiaan ja kun on kysymys samasta puulajista muuten samoissa olosuhteissa. Näitä vaatimuksia eivät kuitenkaan mitkään tällä alalla tehdyt tutkimukset täytä, joten johtopäätökseksi jää otaksuma, että tälläkin seikalla on määrätty vaikutuksensa, joka toistaiseksi on äärimmäisyystapauksissa voitu todeta puun painoon nähden siten, että puu on lähellä lumirajan ja viljavissa laaksoissa keveämpää (kuiva paikka) kuin rinteillä, ja puun lujuuteen, varsinkin puristuslujuuteen, nähden siten, että vuoriston ylimmillä osilla rungon ala-osat huomattavasti alkavat lujeta, mutta, että muuten puu on raskainta sillä vertikaalisella tasolla, missä sen runkomuoto on kaunein.

d. Puulajin vaikutus, puun mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin on kaikkein aikaisimmin tunnettu. Se on siksi huomattava, että kullakin puulajilla on omat tarkoin määriteltävät mekaanillis-teknilliset ominaisuutensa ja että kullekin puulajille ominaisella rakenteella tässä suhteessa on ratkaiseva merkitys.

e. Kasvupaikan (maanlaadun, metsätyypin) suhteen voidaan oikeastaan sangen vähän tehdä yksityiskohtaisia johtopäätöksiä. Sen verran voidaan kuitenkin sanoa, että mekaanillis-teknillisessä merkityksessä parasta puuta ei saada parhailta maanlaaduilta eikä myöskään

huonoimmilta, vaan maanlaaduilta, jotka edustavat jotain hyvyysastetta näiden välillä. Tällöin on kuitenkin huomattava, että tällaisiin tuloksiin ovat johtaneet m.m. tutkimukset erittäin hyvillä mailla (entisillä pelloilla, puutarhoissa, lehtokujissa kasvaneiden puiden perusteella tehdyt), joten ei löydy selvyyttä siitä, mikä on asianlaita meidän absoluutisilla metsämaillamme. Edelleen ovat maanlaadut tähän asti tehdyissä tutkimuksissa sangen epämääräisesti määritellyt, joten esim. eri tutkijoiden tutkimusten vertailu keskenään on tässä suhteessa sangen epävarma. Tekijän mielestä on todennäköistä, että metsätyyppi ainakin meidän ja Skandinaavian oloissa tulee tekemään mahdolliseksi tutkimukset, joita voidaan verrata toisiinsa, ja edellä onkin, esim. painoon ja vesipitoisuuteen nähden todettu metsätyypistä riippuva vaihtelu.

f. Puun aseman metsikossa vaikutus on jo tähänastisissa tutkimuksissa sangen selvästi todettu. Tämä riippuu siitä, että tällä alalla jo aikaisin on apuharvennuskokeiden yhteydessä saatu aikaan pätevä luokittelu. Myös tässä suhteessa näyttää vallitsevan jonkunlainen kultaisen keskitien laki, niin, että mekaanillis-teknillisiltä ominaisuuksiltaan parhaita puita ei löydetä suurimmaksi osaksi vallitsevista eikä myöskään täydelleen vallituista puista vaan näiden välillä olevista luokista. Poikkeuksen tässä suhteessa tekee puun vesipitoisuus, joka jokseenkin varmasti vähenee vallittuihin luokkiin päin. Lujuusominaisuuksien yksityiskohdissa voidaan myös tavata tässä suhteessa poikkeuksia, mutta suurena sääntönä pitää näidenkin suhteen yllä esitetty paikkansa.

g. Koekappaleen asema puussa on seikka, jolle jo aikaisin on annettu huomiota, sillä sen vaikutusta tutkimalla on etsitty vastausta kysymykseen siitä, mistä osasta runkoa saadaan kuhunkin mekaanillis-teknilliseen tarkoitukseen soveliain puuosa. Tällöin on selvinnyt, että runkopuun oksaton osa yleensä on soveliain useimpiin tarkoituksiin, joihin hyvää puuta vaaditaan. Oksattoman puuosan alin osa, tyvipaksunema, on yleensä mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiinsa nähden parasta puuta. Mitä taas tulee koekappaleen asemaan ytimeen nähden, niin on siinä suhteessa ainakin lujuusominaisuuksiin nähden todettavissa, että paras puu saadaan pintapuusta.

h. Puun anatoomisesta rakenteesta voidaan usein jo silmämäärällä päättää puun laatu. Erikoisen suuri merkitys on tässä suhteessa annettava suurelle kesäpuu-%:ille sekä vuosilustojen leveydelle. Näihin seikkoihin perustuvalla sorteerauksella voidaan (esim. Amerika) jo jakaa puut ryhmiin, joiden mekaanillis-teknilliset ominaisuudet voi-

daan likiarvoisesti tuntea ilman, että yksityiskohtaisia kokeita täytyy tehdä. Useimmissa tapauksissa merkitsee myös säännöllinen, suora, kasvu, pitkät (diametriinsa verrattuina) trakeiidit tai libriform-solut mekaanillis-teknillisiin tarkoituksiin edullista puuta.

i. Puun viat alentavat luonnollisesti niiden mekaanillis-teknillisiä ominaisuuksia. Ainoa vika, jonka merkitys tässä suhteessa on selvittämätön, on sinistynyt puu, jonka suhteen on osotettu, että sen lujuusominaisuudet ainakin kuivana ovat samat kuin terveenkin puun. Selvää on myös, että visamuodostumat, lyly j.n.e. erinäisissä tapauksissa kohottavat puun mekaanillis-teknillisiä ominaisuuksia.

j. Puun ikä vaikuttaa luonnollisesti ainoastaan välillisesti puun mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin. Voidaan sanoa, että puulla yleensä on sellainen ikä, jonka kohdalla sen mekaanillis-teknilliset ominaisuudet kulmineeraavat. Mikä tämä ikäkausi yleensä on, siitä eivät tähän asti tehdyt tutkimukset anna pätevää selvyyttä, mutta yleensä on nuoren ja yli-ikäisen metsän puu-aine huonompaa kuin metsän, jonka ikä lankeaa näiden, tosin sangen laajojen, rajojen väliin.

k. Puun kaatoajan merkitys tässä suhteessa on vaikea selvittää senvuoksi, että on sangen vaikea eliminoida monesta muusta vaikuttavasta tekijästä kaato-ajan merkitys erilleen. Puun kemiallisiin ominaisuuksiin nähden, esim. sen kestävyyteen, on kaatoajan merkitys voitu selvään todeta. Mitä taas mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin tulee, niin on kaatoaikakysymystä sangen vaikea erottaa puun kuivattamiskysymyksestä. Sen verran on kuitenkin voitu todeta, että kaatoajalla on merkityksensä puun veden läpäisemiskykyyn nähden, niin että tämä on selvästi pienimmillään alkutalvesta (joulu- ja tammikuussa).

l. Puun erilainen käsittely, kuoriminen, kuivaaminen, halkaiseminen j.n.e. vaikuttaa sangen suuressa määrin kaikkiin puun mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin, joita tarkoituksenmukaisella käsittelyllä voidaan sangen huomattavassa määrin parantaa. Tällä seikalla onkin käytännössä ratkaiseva merkitys ja voidaankin sanoa, että puusta, jonka ominaisuudet kaataessa eivät olekaan ensiluokkaiset voidaan aina tarkoituksenmukaisen käsittelyn kautta saada hyvää ja käyttökelpoista tarvepuuta.

m. ja n. Ilman ja maaperän kosteus lisäävät puun vesipitoisuutta ja saavat tässä suhteessa aikaan ne muutokset puun mekaanillis-teknillisissä ominaisuuksissa, joita suurempi kosteus aiheuttaa. On kuitenkin huomattava, että ilman suhteen tällöin otetaan huomioon relatiivinen kosteus ja maaperän suhteen fysiologinen kosteus. Pieni

relatiivinen kosteus ilmassa ja fysiologinen kuivuus maaperässä merkitsevät tässä suhteessa sitä, että puu on luettava kuivassa ilmassa resp. maaperässä kasvaneeksi.

o. Puun suurempi väriaine- ja hartsipitoisuus merkitsevät yleensä hyvää puuta. Tällöin on luonnollisesti väriainepitoisuuteen nähden otettava huomioon, että väri ei johdu puun sairauksista ja hartsipitoisuuden voidaan sanoa kohottavan puun mekaanillis-teknillisiä ominaisuuksia vasta sitten kuin pihka on täydellisesti hartsiksi oxideeraantunut.

p. Puun elintoimintoja tarkastamalla voidaan myös tehdä johtopäätöksiä sen mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien suhteen. Säännöllisyys puun elintoiminnoissa on yleensä takeena siitä, että puusta saadaan hyvää puuainetta. Liika kiivaat elintoiminnat, jotka esim. ilmenevät puun lehdistön luonnottomana suuruutena, liika runsaina ja liika suurina neulasina, tai päinvastoin liika hitaat elintoiminnat, antavat aina aihetta otaksumaan, että puusta ei saada hyvää puuainetta. Toiselta puolen voidaan puun elintoimintoja järjestämällä. esim. kuorimalla puu pystyyn lisätä puun ominaisuuksia esim. lujuutta, painoa j.n.e.

q. Puuta ympäröivän ilman lämpötila tai oikeammin sen vaihtelut antavat myös jonkun verran ohjetta puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien arvostelemiseen. Niinpä esim. siellä, missä vuoden aikaiset lämmönvaihtelut ovat hyvin suuret ja äkilliset (kylmä talvi, kuuma kesä), puissa esiintyy enemmän halkeamia kuin siellä, missä asianlaita on päinvastainen. Vuorokautisten lämmönvaihtelujen vaikutus taas on toinen, sillä niiden suhteen voi puu paremmin suojella itseään ja ei ole mahdollista, että esim. troopillisten seutujen puiden suuri paino ja suuret lujuusominaisuudet ovat osaksi juuri tästä seikasta riippuvaisia.

r. Puun lämpötila on seikka, joka aina on otettava huomioon, kun puun mekaanillis-teknillisiä ominaisuuksia tutkitaan. Sen merkitys puun painoon riippuu puun lämmönvaihteluista johtuvasta ko'on muutoksesta ja on tarkoilla mittauksilla helposti todettavissa. Samoin ovat luonnollisesti lujuusominaisuudet aivan erilaiset, jos ajatellaan, että kahdesta aivan samanlaisesta puusta toinen asetettaisiin ulkoilmaan ja toinen esim. lämpimään tehdasrakennukseen. Kovuuden suhteen huomataan puun lämpötilan vaikutus kaikkein selvimmin.

s. Toisten kasvien ja eläinten vaikutus puun mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin on laaja kysymys, jonka käsittelyn voimme tässä yhteydessä sivuuttaa, sillä se ei oikeastaan kuulu metsäteknologian alaan.

Edellisestä on selvinnyt, että tällä alalla on paljon ratkaisematonta. Käsiteltäessä metsäteknologisen tutkimuksen tehtäviä lähiaikoina, on luonnollisesti otettava huomioon se seikka, että tällä alalla löytyy paljon erikoiskysymyksiä, joiden käsittelyllä ei ole yleistä merkitystä, ja sen vuoksi onkin seuraavassa rajoituttu niihin kysymyksiin, joilla on yleinen arvo ja joiden ratkaisulla samalla on käytännöllistä merkitystä.

Tutkittavista kysymyksistä ovat tärkeimmät.

a. Optimum-laki puun mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin nähden.

b. Metsätyypin merkitys mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin.

c. Puun anatoomisen rakenteen merkitys puun mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin.

d. Puun rungon eri-osien mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien vertaileva tutkimus.

e. Puun käsittelyn merkitys sen mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin.

a. Optimum-lain suuripiirteinen paikkansa pitäväisyyttä niissä rajoissa, jotka edellä sekä kutakin ominaisuutta erikseen käsiteltäessä että viimeksi ss. 169—170 ovat esitetyt, ei kukaan epäile, mutta toistaiseksi ei Europassa eikä Amerikassakaan löydy tutkimuksia siitä, millä alueilla löytyvät kullakin metsätyypillä kaunisrunkoisimmat ja yleensä mekaanillis-teknillisten ominaisuuksiensa puolesta parhaat puut. Selvää on, että yleisen kaavan laatiminen, jonka perusteella ominaisuuksien kokonaissummaa arvosteltaisiin, on sangen vaikea, mutta ottamalla perusteeksi juuri ne ominaisuudet, joilla on suurin merkitys tekniikassa ja siis myös puutavarakaupassa, voitanee todeta, millä seuduilla on kunkin puulajin mekaanillis-teknillinen optimum. Tällaisella tutkimuksella tulisi epäilemättä olemaan suuri käytännöllinen merkitys, varsinkin, jos se samalla käsittäisi jonkun verran yksityiskohtaisia tietoja yksityisistä kaupallisesti ja teknillisesti tärkeimmistä ominaisuuksista. Jos ajatellaan omia olojamme, niin emme esim. tiedä, halkeavatko Etelä-, Keski- tai Pohjois-Suomen puut parhaiten, emme tiedä, mistä meidän on hankittava esim. parhaat puut katto- ja siltakonstruktioihin, mistä parhaat puut lattioihin j.n.e. Kaikkiin tällaisiin kysymyksiin antaisi jo optimum-kysymyksen ratkaisu selvän vastauksen. Kaikki, mitä puiden ominaisuuksista tiedetään, viittaa mahdollisimman suurella varmuudella tällaisen optimum'in olemassaoloon, mutta toistaiseksi ei ole voitu sitä tarkoin määritellä eikä rajoittaa.

b. Metsätyypin merkitys puiden mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin, on seikka, jonka tutkimuksella tulee olemaan suuri käy-

tännöllinen merkitys. Sitä voidaan samoin kuin edellistäkin milt'ei lisävaivatta tutkia muiden kysymysten yhteydessä. Tarvitsee ainoastaan vaivautua merkitsemään, miltä metsätyypiltä koekappale on otettu. Tämän tutkimuksen yhteydessä tulee selviämään paljon käytännöllisesti arvokkaita seikkoja, esim. sellaisia kuin, mistä saadaan paras faneeripuu, mistä saadaan oksattomin sahapuu, mistä saadaan halkeamattomin mänty, mistä saadaan paras lentokonepuu (kevein ja samalla lujin) j.n.e. Tämän sekä edellisen seikan tarpeellinen selvittäminen tulee tuottamaan m.m. puutavarakaupan, sekä kotimaisen että ulkomaisen, suhteen suuria etuja. Puutavara-eriä kaupalle tarjottaessa käy välttämättömäksi ilmoittaa, millaisella tyypillä puu on kasvanut ja puutavaraa ulkomaille myytäessä tullaan panemaan huomiota sille seikalle, mistä puu on kotoisin ja täten luokittaneeksi puu paljon tarkemmin ja luotettavammin kuin nykyään.

c. Puun anatoominen rakenne. Tässä suhteessa on Amerikassa jo päästy pitkälle. Siellähän ovat käytännössä n.k. *density rules*, s.o. säännöt siitä, miten jo paljaalla silmällä tarkastaen voidaan päättää, mikä on vuosirenkaassa kevät- ja kesäpuun suhde. Nämä säännöt perustuvat puun painoon absolutisesti kuivana ja on niillä suuri merkitys puutavaraa eri tarkoituksiin valittaessa. Niinpä esim. rakennuspuuksi ei kelpaa puu, jonka vuosirenkaissa on vähemmän kuin 33 % kesäpuuta. Samanlaisten sääntöjen laatiminen, sinistymisen oksaisuuden, oksakehien välimatkan, vuosilustojen keskimääräisen leveyden, sydän- ja pintapuumäärän y.m. seikkojen perusteella kuuluu tämän alan tutkimukseen. Tämän tutkimusalan tarkoituksena voidaankin sanoa olevan puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien yhteydessä olevien tärkeimpien anatomisten ominaisuuksien tarkan selville ottamisen sekä niiden seikkojen määräämisen, joiden perusteella nämä voidaan helpoimmin silmämäärällä tai joitakin aivan yksinkertaisia koetusmenetelmiä käyttäen todeta.

d. Puun rungon eri osien mekaanillis-teknilliset ominaisuudet verrattuna toisiinsa ovat pääkohdiltaan tunnetut, mutta sitävastoin ei ole ulotettu tutkimusta yksityisiin puulajeihin eri metsätyypeillä. Tunnettuahan on, että esim. ei ole olemassa selvyyttä siitä, miltä kohtaa puu on katkottava, jotta se voitaisiin jakaa lujuudeltaan samanarvoisiin osiin, ei ole myöskään selvitystä siitä, miten puu olisi katkottava, jotta sen uimiskyky olisi parhain. Voidaanpa sanoa, ettei tiedetä niinkään yksinkertaista seikkaa kuin sitä, miten sahapuu on katkottava, jotta sen tyviosasta saataisiin lujin parru ja latva-osasta lujin propsi. On siis selvää, että myös tämä ala tarjoaa alaa tärkeille

tutkimuksille, ja ovat ne luonnollisesti suoritettavat siten, että niiden tulokset niinkuin edellisessäkin päättyvät johonkin helposti määrättävään karakteristikaan.

e. Puun käsittelyn merkitystä sen mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin on mitättömän vähän tutkittu. Tällä alalla on kysymyksien lukumäärä legio. Mainittakoon tässä ain. muutama esimerkki: miten on puu kuorittava, jotta se saavuttaisi mahdollisimman suuren vetolujuuden, kummalla puulla on suurempi puristuslujuus 1 vai 2 vuotta uitetulla, kumpi puu on lujempaa uuni- tai ilmakuivattu, kumpi puu katkeaa helpommin laikuittain tai spiraaliin kuorittu, kumpi puu uppoaa vähemmän alku- vai lopputalvesta kaadettu j.n.e. Samalla kertaa, kun täten voidaan todeta monta käytännöllisesti tärkeätä seikkaa, on myös toiselta puolen huomattava, että puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimuksella on ainoastaan sikäli arvonsa kuin puun käsittely on kuhunkin koekappaleeseen nähden tarkoin määritelty.

Puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkiminen on Europassa vielä toistaiseksi ollut sangen teoreetista. Tutkimukset ovat johtaneet sangen laihoihin käytännöllisiin tuloksiin ja siitä on ollut m.m. seurauksena se, että puu-ainetta on käytetty sangen haaskaavasti. Sallittu kuormitus esim. on ollut ain. $^1/_{10}$ lujuudesta, joka luonnollisesti merkitsee sitä, että puukonstruktioihin on käytetty paljon enemmän ja suurempia puita kuin olisi ollut tarpeellista, jos puiden ominaisuudet olisi tarkkaan tunnettu.

Aivan toiselta ja paljon käytännöllisemmältä kannalta on MADISON-laboratorio ottanut asian. Sielläkin tehdään koneellisia tutkimuksia pienille, mutta samalla myös suurille koekappaleille, mutta tutkimustuloksien korrelatio sellaisiin seikkoihin nähden kuin yllä on mainittu otetaan samalla selville ja niin voidaankin tutkimustuloksia käyttää perusteena laadun mukaiselle lajittelulle.

Juuri tämä seikka, nim., että puiden mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tulee johtaa lajitteluun, on käytännöllisesti tärkein kaiken puun mekaanillis-teknillisen tutkimuksen alalla. Sellaisen lajittelun aikaansaaminen, josta puun mekaanillis-teknilliset ominaisuudet parhaiten kuvastavat, on tehtävä, jota puun mekaanisen teknologian on lähiaikoina koitettava ratkaista.

Tämän yhteyteen on itse asiassa asetettava myös MADISON-laboratorion tutkimukset puukonstruktioista, puu-esineistä ja puu raaka-aineista. Samantapaisten tutkimusten aikaansaaminen on meilläkin ylen tärkeä

ja kaikkein tärkein on tätä nykyä ehkä suomalaisen koivufanerin ja siitä tehtyjen valmisteiden mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkiminen. Näistä mainittakoon erikoisesti fanerin lämmön- ja sähköjohtokyvyt, fanerin vetolujuus, joka todennäköisesti tulee suuressa määrin laajentamaan sen käyttöä lentokoneteollisuudessa, fanerin torsionilujuus, joka, jos se saadaan kohotetuksi tarpeeksi suureksi tulee antamaan faneerille huomattavan merkityksen automobiili-, kone- y.m. teollisuus-aloilla.

Tämän yhteydessä on myös tutkittava kaikki puuaineen laatuun nähden mahdolliset säästöt. On saatava selville kaikki ne mahdolliset tarkoitukset, joissa nykyään kallisarvoisempi tavara voidaan korvata vähempiarvoisella, suurempi pienemmällä j.n.e.

Erikoisena toivomuksena tahtoo tekijä lopuksi lausua sen, että meillekin perustettaisiin MADISON-laboratoriota vastaava laitos, jonka muuten tulisi sekä kokonsa että laatunsa puolesta täyttää ne vaatimukset, jotka maailman metsäisimmän maan metsäteknologiselle laboratoriolle voidaan asettaa.

The mechanico-technical properties of wood; their study and its objects.

SUMMARY.

At the outset, the author gives a short survey of the knowledge, importance and study of the mechanico-technical properties of wood. In this connection the following circumstances are ascertained among others: The study and knowledge of the mechanico-technical properties of wood were caused in ancient times and in the middle ages by: 1) shipbuilding, 2) building trade, 3) furniture industry 4) wars, for instance the crusades.

Shipbuilding was brought to a high perfection in ancient times by the *Phoenicians*. They are said to have sailed, about 600 years b.C. through the Straits of Gibraltar to the open sea, and to have continued their journey round Great Britain. It is known of the ancient *Egyptians* that their extensive river-shipping was done in very well designed vessels. The importance of the *Carthaginians*, the *Grecians* and the *Romans* as promoters of navigation is also well known. In this connection it is evident that the building of ships rendered a knowledge of the properties of timber absolutely indispensible, and that the sages of ancient times, who were very often interested in practical questions, already very early fixed their attention to the mechanico-technical properties of wood. Among these may be mentioned PYTHAGORAS, ARISTOTELES and ARCHIMEDES.

In connection with architecture the knowledge of the properties of wood was brought to high perfection as early as among the ancient *Assyrians* and likewise the *Egyptians* and *Grecians* knew in their buildings to choose the right kind of timber.

Furniture manufacture and, earlier than that, wood carving, were known and far advanced among the ancient Egyptians. These developed for instance the knowledge of the wood material of different trees, as they were thus able to get to know the properties of the different kinds of timber.

The wars made large transport, and the building of ships, vehicles and bridges necessary. Besides this, the war-engines, arms etc. of the ancient nations were for the greater part made of wood. Very beneficial to the knowledge of the properties of wood were the many great wars of ancient times, such as the wars of Alexander the Great, the Punic wars, etc.

The civilized nations of ancient times were thus obliged by many reasons to get to the bottom of the properties of wood, and therefore there is quite a remarkable lot of literature extant from the latter part of the ancient times and the middle ages.

From the ancient times the following works treating, among other things, the mechanico-technical properties of wood are mentioned: *De arboribus* by COLUMELLA;

De re rustica by PALLADIUS and CATO's work on the same subject. From the middle ages we may mention *Ruralium commodorum libri XII* by PETRUS DE CRESCENTIIS, the third part of which is called *De arboribus*, as well as Praedium rusticum written by ETIENNE, LIBAULT and SEBIZIUS.

The author now pass to more recent times. The following names are given: PARENT, MUSSCHENBROECK, BUFFON, DUHAMEL DU MONCEAU, GIRARD, PERONNET, DUPIN, PONCELET, MINARD, DESORME, ARDANT, PACCINOTTI, PERI. CHEVANDIER and WERTHEIM, GEORG LUDWIG HARTIG, VON WERNECK, DE JUSSIEU, GRIMBLOT and NÖRDLINGER, as well as a short résumé of what each of these authors has accomplished in the investigation the mechanico-technical properties of wood.

Then the author proceeds to review the study of the mechanico-technical properties of wood in modern times, in which connection are mentioned particularly the names FOWKE, VON JENNY, EXNER, MIKOLASCHEK, GAYER, TETMAJER, BAUSCHINGER, RUDELOFF, SCHWAPPACH, HADEK, CIEŚLAR, JANKA, WIJKANDER, CLINE, WEISS, HEYER, STÜBCHEN-KIRCHNER, KICK, GINTL, LEDEBUR, THELAUS, KOEHLER etc., which names the author considers to be the most representative as to the study of the mechanico-technical properties of wood, and gives at the same time the most important results reached by each of them.

Then follows an account of the study of the mechanico-technical properties of wood, and the author follows the development of research work on each property from the times of Duhamel du Monceau to the present day, say ng his opinion on each point separately. Besides this, the author in many cases gives an account of his own methods of study and their results.

As a recapitulation the author writes as follows:

In spite of the fact that the mechanico-technical properties of wood have been studied for centuries, there are still a number of unsolved problems. On the other hand, we can say that by this research work a very consistent certainty has been reached regarding many points of a more general character.

In this respect it has to be mentioned, that as has been said above DUHAMEL DU MONCEAU and NÖRDLINGER already defined the main lines of the properties of timber. After them several systems were published, similar, on the whole, to that of Nördlinger. Among these is mentioned, for the sake of completeness, the system of Exner.

Very similar to the system of EXNER is that of the American KOEHLER, which the author in a way makes the basis of his own. The author, however, offers at the same time a definition of his own as to what is meant by the mechanico-technical properties of wood, i.e. that *by the mechanico-technical properties of wood we understand such technically significant properties of wood, as are ascertained principally by mechanical means.*

After this, the author states that the differentiation of the properties of wood has often led to tautology, so that for instance such properties as toughness, elasticity, tendency to split, hardness etc. have been treated as properties separate from strength although they were obviously strength properties of wood. In regard to other properties as well it is possible to make the same statement, and the writer of this is therefore of the opinion that it is more correct and more to the purpose to limit the treatment of the properties of wood to as few main classes as possible. Thus the author differentiates only four purely mechnanico-technical properties of wood, viz.: 1) *weight*, 2) *water contents*, 3) *strength* and 4) *conductivity*. In regard to this division it must be first of all observed that it comprises only the properties that can be observed and

studied in a purely mechanical way. Therefore for instance the lustre has been left out, because it depends upon features that can be ascertained chemically, and in the same way colour, of which the same can be said. Further it must be observed that this division has reference only to the more important and better known-properties, wherefore its amplification is in any case presupposed. The author maintains, however, that the mechanico-technical properties separated by him form a natural whole, because they, for one thing, may be proved to depend mainly on the same circumstances.

The circumstances again, on which the mechanico-technical properties of wood have been ascertained to depend, are principally the following:

a. The region of the geographical distribution of the tree, particularly the continent.
b. The horizontal distribution of the tree.
c. The vertical distribution of the tree.
d. Species of tree.
e. Locality (quality of the soil).
f. Situation of trees in stands.
g. Position of test piece in trees.
h. Anatomical structure of trees.
i. Defects of trees.
j. Age of trees.
k. Felling time (season, time of day).
l. Handling of trees (drying, barking, floating etc.).
m. Humidity of the air.
n. Humidity of the soil.
o. Content of colour and rosin in trees.
p. Life functions of trees (evaporation currents etc.).
q. Temperature of the surrounding atmosphere.
r. Temperature of trees.
s. Mechanical influence of other plants or animals.

Besides these mention must be made of atmospheric pressure, the effect of which has not been mentioned before, but which both DUHAMEL DU MONCEAU and DALIBARD have observed in connection with the sinking of trees.

The fact that in the above treatise it has not been stated how each of the above circumstances affects each of the properties of trees, depends upon the fact that all of them have not been investigated sufficiently.

The above circumstances have, therefore, their significance for the mechanico-technical properties of trees, and the author is of the opinion that it should be the object of a future forest technological research to ascertain how each of these factors influences them.

Generally speaking the following statements may be made:

a. *Geographical distribution of trees*, and particularly the continent, influences in a way which it has not been possible to explain upon the mechanico-technical properties of wood. The relation between the properties of the American and the European species of trees may be mentioned as an exemple of this.

Thus those American species of trees that most closely resemble some European species of trees display properties slightly different from those of the latter. The

American species of trees, for instance, are lighter than the corresponding European ones (beaches, oaks, elms, larches, alders, spruces, etc.), so much so that the pine is nearly the sole species of trees the specific weight of which is approximately the same on both these continents. As to the strength properties this comparison remaines uncertain, for one thing for the reason that the experiments were made under different conditions (the test objects, the water content etc. were different), but it would seem to be a fact that inspite of their small weight the strength properties of the American species are superior to the corresponding properties of the European (mainly the Central European) species of trees.

b. The *horizontal distribution of trees* is not the same thing as that mentioned above, for those American species of trees that have above been compared with the European ones have their habitats between approximately the same degrees of latitude. The effects of the horizontal distribution have been expressed by MAYR by his optimum laws. What the optimum of a species of trees is has been left by Mayr undefined. The optimum may be the region, for instance, in which a species of trees, growing on a certain forest type, at a certain age and tended under a certain system attains the greatest volume per hectare; it may be a region in which a species of trees attains its greatest height (the greatest height of the dominant trees, for instance); it may be also a region in which a species of trees attains its greatest seed yield or in which it regenerates naturally best. If, for instance, the investigations of the specific weights of trees are considered it is noticed that the weights of Finnish and German trees (of the same species), for instance, differ very little from one another (German birch is lighter). If, on the other hand, the weights of Finnish and Russian trees are compared with one another, it is perceived that the North Russian species of trees are, as a rule, heavier than the Finnish ones. Considerably heavier is larch, but also the weight of pine and spruce is greater in Russia than in Germany and Finland. At least the pine and the spruce reach in Germany greater volumes and greater heights. For this reason it would seem at first glance as if the optimum theory of Mayr were not valid in this regard. But in fact the optimum of the species of trees mentioned, particularly that of the larch, is situated in Russia in a certain sense, *viz.* that these trees, particularly the larch, attain there their most beautiful stem form.

At the present stage of forest technological investigations it is naturally impossible to say anything definitive on the above-mentioned optimum law, but the author ventures to offer the hypothesis that *in this case the optimum has to be understood to mean the latitude at which a tree attains its most beautiful stem form and at which the stands composed of a certain species of trees yield the greatest volume per hectare of branchless stem tree.*

c. *The influence of the vertical distribution of trees* has so far been left without investigation. It goes without saying that it may be investigated only when a mountain and a valley stand near to one another and when the same species of trees is concerned under conditions similar in other respects. These requirements are not fulfilled by any investigations carried out in this domain, for which reason the only conclusion will be the hypothesis that this circumstance, too, has its definite influence, which it has been so far possible to ascertain in extreme cases with the result that with repect to the weight of trees, wood near the snow line and in fertile valeys (in dry places) is lighter than on slopes, that with respect to strength of wood, especially strength against pressure the lower parts of stems become stronger on the higher parts of moun-

tains, but that wood is heaviest at that vertical level at which the stem form is most beautiful.

d. The *influence of the species of trees* is the factor which in the investigation of the mechanico-technical properties of wood was known earliest. It is so noticeable for the fact that each species of trees has its own and accurately definable mechanico-technical properties, that the peculiar structure of each species of trees is in this respect of decisive influence.

e. As to *locality* (quality of soil, forest type), in fact only very few detailed inferences are possible. Thus much, however, may be said that the mechanico-technically best wood is not derived from the best soils, nor from the worst, but from soils that represent the medium classes. It is, however, to be noted that this result has been yielded by investigations referring, among other things, to especially good localities (reconverted arable land; trees grown in gardens, alleys), and, accordingly, there is no definite information as to the state of things on our forest lands proper. Further, in the previous investigations the localities were defined very vaguely, for which reason a collation of the investigations is in this regard very uncertain. The author of this finds it probable that *the forest types, at least in the conditions obtaining in Finland and Scandinavia, will render possible such investigations as may be collated with one another*, and with respect to weight and water content, for instance, an evident variation dependant on forest types has been pointed out above.

f. The *influence of the situation of trees in stands* has been established very definitely also by the investigations already made. This is due to the fact that with respect to this point a well-grounded system of classification was reached very early in connection with experiments on thinning methods. Even in this regard the law of the golden middle course seems to obtain, so that as to the mechanico-technical properties the best trees are not found among the mainly dominant nor completely dominated trees, but in the intermediary classes. An exception to this is the water content of trees, which certainly diminishes towards the dominated classes. Also with respect to the details of the strength properties exceptions in this point are to be found, but what has been stated above holds good as a comprehensive law even with regard to them.

g. The *situation of test pieces in trees* is a point to which attention has been payed early, because by investigating its influence one has tried to solve the problem which part of the stem yields the most suitable wood for the different mechanico-technical purposes. It has been established by these investigations that the branchless part of the stem suits best for most of the purposes which require good wood. The lowest part of the branchless section of the stem, the thick base part, is, as a rule, the best wood from the point of view of mechanico-technical properties. As to the situation of test pieces with respect to the core it has been ascertained that, at least so far as the strength properties are concerned, the best wood is yielded by the surface part of stems.

h. By the *anatomical structure of wood* the quality of wood may be determined even ocularly. Special significance must be attached in this respect to the percentage of summer wood and to the breadth of the annual rings. By an assortment based on these points alone trees may be classed in groups the mechanico-technical properties of which may be perceived approximately without any circumstantial experiments. In the majority of cases also the regular and straight growth and the long (in compari-

son with diametre) tracheids or the libriform cells signify wood suitable for mechanico-technical purposes.

i. *Defects of wood* naturally bring down its mechanico-technical properties. The only defect the significance of which has in this respect been ascertained is blue-rot, regarding which it has been established that the strength properties of wood affected by it are the same at least when the wood is dry. It is also evident that *resinosis* etc. enhance in certain cases the mechanico-technical properties of wood.

j. The *age of trees* influence only indirectly the mechanico-technical properties of wood. It may be said that trees have a certain age at which the mechanico-tehnical properties of their wood culminate. The investigations carried out heretofore do not bring any definite light on the question which period of age this is, but, as a rule, the wood of young and of overaged stands is inferior to that of stands whose age falls between these two very wide limits.

k. The influence of the *felling season* has been difficult to ascertain for the reason that it is very difficult to eliminate its influence from a number of other influential factors. In fact, it has been possible to establish clearly its influence with respect to the chemical properties of wood, durability, for instance. But so far as the mechanico-technical properties of wood are concerned it is very difficult to distinguish the influence of the felling season from the influence of desiccation. It has, however, been possible to establish so much that the felling season is of influence with respect the imbibition power of wood, *viz.* that it is clearly least in early winter (December and January).

l. The *different operations of treatment of wood*, as barking, desiccation, cleaving, etc. influence greatly all the mechanico-technical properties of wood, which may be improved very considerably by appropriate treatment. This fact is of paramount practical importance, and it is admissible to say that the wood, the properties of which at the moment of felling are not first grade, may always be turned into good and useful timber by appropriate treatment.

m. and n. The *moisture of the atmosphere and the soil* enhance the water content of wood and bring about all the changes in the mechanico-technical properties that are caused by a greater moisture. It is, however, to be noted, that with respect to the atmosphere the relative moisture and with respect to the soil the physiological moisture have to be taken into account. A small relative moisture of the atmosphere and a physiological dryness signify in this respect that the wood must be taken to have grown up in a dry atmosphere and on a dry soil.

o. The *greater proportion of colouring matter and resin* generally testify to good wood. With respect to the proportion of colouring matter it is, of course, to be noted that the colour is not caused by diseases, and the proportion of colouring matter may not be said to enhance the mechanico-technical properties of wood until the resin has been oxydized into rosin (colophony).

p. From an examination of the *vital processes of trees*, too, inferences as to the mechanico-technical properties of their wood may be made. The regularity of the vital processes of trees generally guarantees that they will yield good timber. Too swift vital processes which take the form of an unnaturally large foliage, too plentious and too large needles or *vice versa*, authorize to assume that the trees will not yield good timber. On the other, it is possible to enhance the properties of wood, as strength, weight, etc. by regulating the vital processes of trees, for instance by peeling the trees alive.

q. The *temperature of the atmosphere surrounding trees* or rather its variations, too, gives some hints for the estimation of the mechanico-technical properties of wood. Thus in regions where the seasonal variations of temperature are wide and abrupt (cold winter, hot summer) the trees show more fissures than in regions where the case is contrary. As to the variations of temperature during the 24 hours the case is different, because against them trees can protect themselves better, and it is not impossible that for instance the great weight of the trees of tropical countries and the high strength properties of their wood partly depend just on this fact.

r. The *temperature of wood* is a circumstance which always must be taken into account in the examination of the mechanico-technical properties of wood. Its bearing on the weight of wood depends on the changes in the volume caused by the variations in the temperature of wood, and it is easily determined by measurements. Likewise the strength properties will naturally be quite different supposing that of two exactly similar logs of wood the one were placed in the open air and the other let us say in a warm factory room. Most evident is the influence of the temperature of wood with respect to the solidity of wood.

s. The influence of other plants and of animals on the mechanico-technical properties of wood is a far-reaching question which we can pass here, because it, stricly speaking, does not belong to forest technology.

As the above remarks show, there are many unsolved problems in this domain. In the discussion of the tasks of forest technological research in the near future the fact, of course, must be taken into account that in this domain there are many special problems, which have no general bearings, and for this reason in the sequal only such problems are considered *as have a general significance and the solution of which has practical bearings.*

The most important of these problems are:

a. The bearings of the optimum law on the mechanico-technical properties of wood.

b. The bearings of the forest types on the mechanico-technical properties of wood.

c. The bearings of the anatomical structure of trees on the mechanico-technical properties of their wood.

d. The comparative investigations of the mechanico-technical properties of the different parts of stems.

e. The influence of the treatment of wood on its mechanico-technical properties.

The validity of the optimum law on a whole and within the limits that have been pointed out above in discussing each property apart as well as for the last time in pp. 147—148, is not questioned by anybody, but so far there are no investigations in Europe nor in America as to the question in which regions each forest type produces trees with the most beautiful stems and, on the whole, with the best mechanico-technical properties. It is evident that the framing of general formula, by whose aid the sum total of the properties could be determined, is exceedingly difficult; but by taking as a basis just those properties that have the greatest bearings for technic and timber business it might be possible to assertain in which region the mechanico-technical optimum of each species of trees lies. Studies of this kind would undoubtedly be of great practical importance, the more so if they contained more detailed information about particular properties of commercial and technical significance.

With reference to conditions in Finland, we do not know for instance whether

the trees grown in Southern, or Central, or Northern Finland split best; we do not know where we get for instance the best wood for roof and bridge constructions, for floors etc. All questions like these would be definitely answered by a solution of the optimum problem alone. All that we know of the properties of trees points with the greatest possible certainty to the existence of such an optimum, but so far it has not been possible to define it nor to delimit it.

b. The *influence of forest types* on the mechanico-technical properties of trees is a hard problem, whose investigation will be of great practical significance. That, as well as the optimum problem, can be investigated in connection with other questions almost without any additional work. One has only to take the trouble to record from which forest type a test piece is taken. Conjointly with these problems many other practically very valuable questions would be cleared up, as, for instance, where the best veneer wood is to be had, where branchless saw timber, where the pine that is least liable to splitting, where the best (the lightest and, at the same time, the strongest) wood for aeroplanes, and so forth. An adequate elucidation of this as well as of the preceding question will bring great advantages for timber trade, for one thing. It will be necessary to indicate, when a quantity of timber is offered for sale, in what sort of forest types it has grown, and in foreign timber trade it will be taken into account where the timber has grown, and thus timber will be classified far more accurately and reliably than for the present.

c. The *anatomical structure* of wood. With respect to this they have advanced very far in America. There they have in use the so-called *density rules*, i.e. rules for determining by ocular inspection the proportion of the spring wood to the summer wood in an annual ring. These rules are based on the weight of absolutely dry wood and they are of great importance in selecting wood for different purposes. Thus for instance timber in whose annual rings the percentage of summer wood is less than 33, is unsuitable for building purposes. The deduction of similar rules on the basis of blue-rot, knottiness, distance between branch whorls, average breadth of annual rings, proportion of heart and surface wood, etc. is an affair of investigations of this type. It may be stated to be the purport of investigations of this type to find out the most important anatomical properties connected with the mechanico-technical properties of wood, and to ascertain the factors on the basis of which it is easiest to determine them ocularly or by the aid of some simple test method.

d. The *mechanico-technical properties of the different parts of stems*, as compared with one another, are in their main points well-known, but, on the other hand, this investigation has not been extended to comprise the individual species of trees in the forest types. Thus we have no clear notions as to the points at which a stem has to be cut up in order to divide it into portions of the same value with respect to strength, nor have we any clear ideas as to how a stem has to be cut to pieces in order to secure to it the best floating capacity. Nor is this enough; we do not know even so simple a thing as how a saw log has to be cut up in order to get the strongest spar from its lower part ant the best pit-props from its small end. There is no doubt that also these problem offer a field for important investigations, and naturally they have to be carried out so that the results in this case as well as in the preceding case will yield an easily ascertainable characteristic.

e. The *bearings of the treatment of wood* on its mechanico-technical properties have been investigated to an insignificant degree. Here the number of problems is

a host. Only few may be mentioned as examples: how has a tree to be barked in order that it may acquire its greatest tenacity; which kind of wood has the greatest retroactive tenacity: that floated one year, or two years; which sort of wood has greater strength: air-dried, or oven-dried; which wood breakes least: that barked vertically or that spirally; which wood is least liable to sinking; that felled early or that felled late in the winter, and so forth. At the same time as many practically important facts are found out it is on the other hand to be noted that an investigation of the mechanico-technical properties of wood is of value only in so far as the treatment of wood is clearly defined with respect to each test piece.

The investigation of the mechanico-technical properties of wood is in Europe so far of an exceedingly theoretical character. Investigations have led to very meagre results with the consequence that wood material has been used in a very wasteful manner. The permissible charge, for instance, has been only one-tenth of the strength, which, of course means that in wood constructions much more and larger timber is used than would be necessary in case the mechanico-technical properties of wood were accurately known.

Quite differently and much more practically has the matter been approched by the MADISON Laboratory. There, too, mechanical investigations are made on small, but at the same time also on large ($12'' \times 16'' \times 16'$, for instance) test pieces, but the correlation of the results of these investigations with the aspects mentioned above is determined at the same time, and thus it is possible to use these results as a foundation for a classification by quality.

It is just this thing, *viz.* that *the mechanico-technical properties must lead to a system of classification, which, from the practical point of view, is the most important in the research of the mechanico-technical properties of wood.* Bringing about a classification which best reflects the mechanico-technical properties of wood, is a task which mechanico-technological investigation of wood must strive to solve in near future.

In fact, this is attempted at also by the MADISON Laboratory, by its investigations of wood construction, wood articles, and wood raw-materials. Research work of this kind is exceedingly important also for our country, investigation of Finnish birch veneer and the mechanico-technical properties of its manufactures being most urgent of all. Among these properties may especially be mentioned its thermal and electric conductivity, its tenacity, which probably will greatly enlarge its use in aeroplane manufacture, its strength against torsion, which, if it is possible to enhance it sufficiently, will earn for it a significant place in motor car and machine and other such industries.

Along with this, all the possible savings with respect to quality have to be investigated. All the applications, in which the present use of more valuable material may be replaced by less valuable, greater size by smaller one, and so forth.

At last the author wants to express as his special wish that an institute corresponding to the MADISON Laboratory may be founded in Finland, too. This institute ought to come up, with respect to its dimensions and quality, to the requirements that may be set for the forest technological laboratory of a country that is richest in forests in the world.

ÜBER STAMMKUBIERUNGSFORMELN

VON

ERIK LÖNNROTH

HELSINKI 1927

HELSINKI 1927
DRUCKEREI DER FINNISCHEN LITERATURGESELLSCHAFT

Die Frage der Stammkubierungsformeln ist allerdings schon längst von den verschiedensten Seiten aufgeworfen und erörtert worden. Wenn sie hier trotzdem unter erneute Behandlung genommen wird, geschieht es in der Absicht, die Aufmerksamkeit auf noch einige erklärende Umstände zu lenken.

Sondervolumformeln für Baumstämme können einerseits durch direkte Versuche bzw. Berechnungen an natürlichem Stammaterial, dessen Kubikinhalt durch hinreichend genaue sektionsweise, xylometrische oder ähnliche Grundkubierungen von vornherein bekannt ist, und andrerseits durch Vermittlung geeigneter, rein mathematisch formulierter Vergleichskörper aufgestellt werden.

Das Studium der Stammkubierungsfrage auf Grund allgemeiner mathematisch definierter Musterkörper kann, in zweckmässiger Form betrieben, den verschiedenen Volumformeln wenigstens eine einheitliche theoretisch begründete Zusammenfassung verleihen, die auch für die praktische Seite der Frage von Bedeutung ist. In der vorliegenden Studie ist, u. a. mit Rücksicht auf diesen Gesichtspunkt, die in Rede stehende Aufgabe in der fraglichen theoretischen Beziehung behandelt und begründet.

Die wirkliche Grundlage für die Stammkubierungsformeln bildet jedoch selbstverständlich immer nur der echte Baumstamm, der natürlich auch die Urbasis des fraglichen mathematisch formulierten Ersatzkörpers ist. Während aber der Ersatzkörper stets nur ein Vermittler ist, bietet das zweckmässig gewählte natürliche Stammaterial direkte Hinweise für die zu behandelnde und zu lösende Aufgabe dar. Im Hinblick hierauf ist das Studium im vorliegenden

durchgehends, mit prinzipieller Zielführung, primär auf ein echtes exemplifikatorisches Stammaterial bezogen worden.

Die beiden angeführten Verfahren für die Aufstellung von Stammkubierungsformeln sind folglich in dieser Untersuchung einander ergänzend berücksichtigt. —

Es wird hier nur mit Vollstämmen operiert.

In der Absicht, den Baumstamm mathematisch zu charakterisieren und zu definieren, hat man ihn allgemein als einen regelmässigen Rotationskörper betrachtet. Billigt man diese Anschauung, was wenigstens auf dem Gebiet der praktischen Stammkubierung geschehen kann, so wird das fragliche Volumen V bekanntlich durch die Formel

$$V = \frac{\pi}{4} \int_0^H D^2 \, da \tag{1}$$

gefunden, wo D ganz allgemein den Stammdurchmesser in der Höhe a von der Basalfläche des Stammkörpers und H die Stammhöhe bezeichnet.[1]

In einer genauen Stammform spezialuntersuchung würde es nun von Belang sein, einen mit der tatsächlichen Baumstammkurve in genauer Übereinstimmung stehenden, für die Erzeugungskurve des Rotationskörpers geltenden mathematischen Ausdruck zu kennen. U. a. wegen der recht starken Asymmetrie der Stammkurve in betreff ihrer zwei durch den primären Inflexionspunkt abgetrennten Stammpartien kann ein solcher Ausdruck nur mit Hilfe einer recht grossen Menge von Dickezeigern des Stammes — also nur auf recht umständliche Weise — konstruiert werden.

In einer Studie, die sich primär doch nur mit dem Volumen der Baumstämme befasst, ist es dagegen a priori nicht unbedingt notwendig, eine Mutterkurve für den Vergleichskörper aufzustellen, die der Stammkurve genau folgt; es gilt ja diesmals nur, eine Kurvengleichung zu finden, die in den fraglichen Fällen in Verbindung mit der Formel (1) nichts weiter als nur einen genügend guten Volumausdruck für den

[1] Es sei auch im Gegensatz hierzu an das neuerdings von MATHIESEN ausgearbeitete Kubierungsverfahren erinnert, welches sich auf die bekannte GULDIN'sche Regel für Kubierung von Rotationskörpern gründet.

A. MATHIESEN 1925, Tüve pikuti läbilõike pind kui faktor tüve massi määramiseks. (Mit deutschem Referat: Die Längsdurchschnittsfläche eines liegenden Stammes als Faktor zur Bestimmung dessen Kubikinhaltes.) Tartu Ülikooli metsaosak. toimet. Nr. 6.

Stamm oder sogar nur eine geeignete Grundlage für die dann mehr oder weniger freie Weiterentwicklung angemessener Stammkubierungsformeln darbietet.

Die Fragestellung der theoretischen Stammkubierung wird hierdurch selbstverständlich bedeutend erleichtert, und es hat sich auch dabei gezeigt, dass die theoretische Grundbehandlung der Stammkubierungsformeln auf einer derart vereinfachten Basis, wenigstens in gewissen Hinsichten, recht übersichtlich, befruchtend und auf eine mit den praktischen Gesichtspunkten wohl übereinstimmende Weise durchgeführt werden kann. Die einem solchen Verfahren anhaftende Unsicherheit der erhaltenen ersten theoretischen Grundergebnisse kann und soll auch, wie erwähnt, durch die immer offenstehende Möglichkeit, die Ergebnisse an natürlichem Stammaterial als dem entscheidenden Prüfstein zu kontrollieren, beseitigt werden, bei welcher Gelegenheit die fraglichen Volumformeln unter Umständen auch endgültig verfeinert bzw. festgestellt werden können.

Eine Kurve, die trotz offenbarer Schwächen als Vertreter der Stammkurve eine, wie die früheren Erfahrungen[1] und auch die hier gemachten weiteren Untersuchungen gezeigt haben, in mehreren Hinsichten recht vorteilhafte und besonders neue Anregungen ergebende Basis für die theoretische Vorprüfung verschiedener Fragen auf dem Gebiet der Stammkubierungsformeln ganzer Stämme darbietet, ist die allgemein angewandte sog. Potenzkurve.

Diese Kurve ist auch in der vorliegenden Studie als erste theoretische Basis in der Frage der Stammkubierungsformeln herangezogen.[2] Die weitere entscheidende Erörterung geschieht, wie erwähnt, nebenbei auf Grund eines natürlichen Stammaterials, was also das angenommene theoretische Untersuchungsverfahren weiter richtigstellt und ergänzt.

Die Stellung der Potenzkurve zu dem vorliegenden Thema, als theoretisch vermittelnde Untersuchungsbasis im allgemeinen betrachtet, ist wohl so bekannt, dass eine erneute prinzipielle Darlegung in dieser Hinsicht hier kaum vonnöten sein dürfte. Wie sich diese Kurve jeweils zu den speziellen Fragen in betreff der echten Stammkubierungsformeln

[1] Vgl. z. B. die betreffenden Hand- und Lehrbücher.

[2] Im Zusammenhang mit der theoretischen Begründung eines vom Verf. aufgestellten Verfahrens zu praktischer Qualitätsschätzung von Nutzstämmen hofft Verf. auf die Frage der genaueren Stammkurveninterpretierung als solcher in naher Zukunft zurückkommen zu können.

verhält, wird während des Fortgangs der Arbeit jedesmal besonders untersucht und nachgewiesen werden. —

Die Gleichung dieser Kurve kann in folgender Weise geschrieben werden:

$$\left(\frac{D}{2}\right)^2 = p(H-a)^r, \tag{2}$$

wo, ausser den schon oben gegebenen Bezeichnungen, r den sog. Formexponenten und p einen Parameter bezeichnen.

In Verbindung mit der Formel (1) erhält man, wie bekannt, auf Grund der Formel (2) für das Volumen ganzer Konoide weiter folgende Allgemeinformel (vgl. Fig. 1): [1] [2]

$$V = \frac{\left(1-\frac{a}{H}\right)^{-r}}{1+r} \cdot \frac{\pi}{4} D^2 H. \tag{3}$$

Setzt man hier statt $\frac{\pi}{4} D^2$ die Bezeichnung G (Kreisfläche) und statt des ersten Bruches die Bezeichnung F, also

$$F = \frac{\left(1-\frac{a}{H}\right)^{-r}}{1+r}, \tag{4}$$

so geht die Formel (3) in die Form

$$V = FGH \tag{5}$$

über.

Wie allbekannt, trägt F den Namen Formzahl. Ihre allgemeine, von der Potenzkurve unabhängige Formel lautet bekanntlich, gemäss Formel (5)

$$F = \frac{V}{GH}, \tag{6}$$

wo V das Volumen des Baumstammes bezeichnet. Die Formzahl ist eine in betreff des Grades der Vollholzigkeit des Stammes (gemäss Formel (4) in betreff des Formexponenten r) und der Verhältniszahl $\frac{a}{H}$ variable Grösse.

Drückt man a in bezug auf H durch eine relative Zahl aus, somit

---

[1] Vgl. U. MÜLLER 1923, Lehrbuch der Holzmesskunde. 3. Aufl. Berlin. (S. 16.)

[2] r charakterisiert, wie bekannt, für den Wert Null den Zylinder, Eins das Apollonische Paraboloid, Zwei den gemeinen Kegel und Drei das Neiloid.

$\frac{a}{H} = \alpha$, wo α also einen Wert zwischen Null und Eins hat, so erhält man die echt oder normal benannte Formzahl. Für diesen Fall geht die allgemeine Formzahl (4) entsprechend in die Form

$$F_\alpha = \frac{(1-\alpha)^{-r}}{1+r} \tag{7}$$

über.

Die so erhaltene Normalformzahl ist aber nur ein spezieller Sonderfall von den verschiedenen solchen Formzahlen, die bei der in Frage stehenden Volumbestimmung entwickelt werden können. Desgleichen ist auch Formel (5) nur ein Sonderfall von den verschiedenen Volumformeln dieses Typs. Einer sachlichen inneren Veränderung in dem Formeltyp (5) entspricht eine sachliche Veränderung der echten Formzahl.

Es ist weiter einleuchtend, dass auch die aus der Grundgleichung (1) herfliessenden, für die Baumstammkubierung vorgeschlagenen speziellen Volumformeln formal in den Formeltyp (5) übergeführt werden können. Hiermit bietet sich folglich eine Möglichkeit zu einer auf allgemeiner einheitlicher Basis ruhenden Musteruntersuchung einiger Eigenschaften der verschiedenen in Rede stehenden Stammkubierungsformeln. Diese Untersuchung läuft also auf einen Vergleich der Koeffizienten der speziellen in die Formelform (5) übergeführten verschiedenen Stammkubierungsformeln mit den jeweils entsprechenden echten Formzahlen, bzw. auf eine Auffindung der jeweils etwa besten Formelkoeffizienten, also auf eine Prüfung von bestimmten reinen Zahlen hinaus.

Hauptsächlich eine so durchgeführte Untersuchung stellt die vorliegende Studie dar. In ihrer Weise grunderklärend ist dabei die echte Formzahl gewesen, die hier also eine erneute theoretische und praktische Analyse erfordert hat. —

Die Darstellung ist nach gewissen Verschiedenheiten in dem Charakter der hier in Betracht kommenden Stammkubierungsformeln in verschiedene Abschnitte geteilt. Die Untersuchung bezieht sich, wie schon erwähnt, nur auf Vollkörper.[1]

[1] Es sei noch erwähnt, dass die Frage der Stammkubierungsformeln hier kein vergleichendes Studium zwischen der direkten Volumformelmethode und den anderen Verfahren zur Bestimmung des Stamminhalts veranlasst, sowie dass hier auch keine besondere Abwägung der verschiedenen Kubierungsformeln in bezug auf die verschiedenen Spezialzwecke der Stammkubierung als solche vorgenommen werden soll.

I

Für jene üblichen Stammkubierungsformeln, die sich auf einen in fester Teilhöhenlage befindlichen Durchmesser und die Ganzhöhe des Stammes gründen, ist die im Anschluss an den Formeltyp (5) anzugebende Grundformel, wie bekannt, mit einem konstanten Koeffizienten F_k zu akkommodieren, also

$$V = F_k G_\alpha H, \tag{8}$$

wenn nämlich die in der Formel ersichtliche G_α dieselbe Kreisfläche vorstellt, die für die jeweils in Frage stehende Kubierungsformel bestimmend ist. (Vgl. Kap. IV.)

Für den vorzunehmenden vorläufigen theoretischen Vergleich zwischen diesen Stammkubierungsformeln und der allgemeinen entsprechenden Konoidvolumformel (3) ist also, wie erwähnt, ein Vergleich der gegebenen festen F_k-Werte der fraglichen Stammkubierungsformeln (für gegebene Teilhöhenlagen α der Durchmesserermittlung) mit den entsprechenden variierenden echten F_α-Werten der Formel (7) durchzuführen. Diese Untersuchung gibt Auskunft über die Frage, für welche r-Werte eine jede Stammkubierungsformel mit der Konoidformel (3) übereinstimmt und wie gross die entsprechenden Abweichungen ausserhalb dieser r-Werte sind.

Demgemäss ist in Fig. 7 die Abhängigkeit der Formzahl F_α von dem Formexponenten r in der Weise graphisch dargestellt, dass die Abszissenachse des rechtwinkligen Koordinatensystems den variierenden Formexponenten r und die Ordinatenachse die Formzahlen F_α repräsentieren. Die laufenden F_α-Werte erweisen sich in dem Bild, der Formel (7) gemäss, als Kurven, eine Kurve für jeden α-Wert. Die konstanten F_k-Werte werden ihrerseits in dem Bild also mittels wagrechter Linien vergleichend veranschaulicht.

In betreff der gegebenen diesbezüglichen Stammkubierungsformeln sind die zwei verschiedenen Kategorien der F-Werte in der in Rede stehenden Hinsicht folgendermassen nebeneinanderzustellen: [1]

[1] FR. HUBER 1825. Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwes. — Die nach HUBER benannte Zylinder- bzw. Paraboloidformel ist jedoch, wie bekannt, wenigstens vom Jahre 1758 an (von A. G. KÄSTNER) zur Baumstammkubierung angewandt worden. — Vgl. A. R. VON GUTTENBERG—U. MÜLLER, Holzmesskunde. T. v. LOREY—H. WEBER 1925, Handbuch der Forstwissenschaft, Bd. III, 4. Aufl. Tübingen. (S. 83.) — E. AMGWERD

HUBER	$F_k = 1$	F_α	für $\alpha = \frac{1}{2}$
HOSSFELD	» $= \frac{3}{4}$	»	» » $= \frac{1}{3}$
Paraboloidformel	» $= \frac{2}{3}$	»	» » $= \frac{1}{4}$
SMALIAN	» $= \frac{1}{2}$	»	» » $= 0$.

Die Verhältnisse der einander entsprechenden F_k-Wagrechten und F_α-Kurven zueinander gehen aus Figur 7 deutlich hervor. Für die zwei r-Werte, für welche die fraglichen F_α-Werte gleich dem entsprechenden F_k-Wert sind, schneiden die paarweisen Linien einander (falls die Kurve

1903, Einfache Berechnungsweise des Massengehaltes von liegenden und stehenden Stämmen, Schweiz. Zeitschr. f. Forstwes., benutzt den KÖNIG'schen Näherungswert 3.2 für π und erhält die der HUBER'schen Formel entsprechende Kubierungsformel $V = 0.8\, D^2 H$, die also hier einen F_k-Wert von der Grösse 1.019 besitzt. Andrerseits führt AMGWERD auch den anderen naheliegenden Hilfswert 3 für π an, wodurch die fragliche Kubierungsformel die Form $V = 0.75\, D^2 H$ annimmt und der F_k-Wert die Grösse 0.955 erhält. — Wie bekannt, hat man noch gewisse Umfangsersatzformeln für die Mittenmessung entwickelt; diese können hier jedoch unbeachtet bleiben.

J. W. HOSSFELD 1812, Niedere und höhere praktische Stereometrie oder kurze und leichte Messung und Berechnung aller regel- und unregelmässigen Körper, usw. Leipzig. (S. 123.) — S. PETRINI 1926, Formeln für Stammkubierung, Thar. Forstl. Jahrb. (S. 21 und 51), hat drei der HOSSFELD'schen Formel nahestehende Varianten angegeben: $V = \frac{25}{32} G H$ für $\alpha = 0.36$; $V = 0.73\, G H$ für $\alpha = 0.34$ und $V = 0.71\, G H$ für $\alpha = 0.33$. Die erstgenannte Formel bezieht sich auf die hier benutzte Erzeugungskurve des Rotationskörpers. Vgl. weiter unten.

H. L. SMALIAN 1806. Reichsanzeiger. (S. 321.) — Nach U. MÜLLER 1923, l. c. (S. 23.) — E. AMGWERD 1903, l. c., schlägt auch hier den Wert 3.2 statt π vor und erhält somit die entsprechende Formel $V = 0.4\, D^2 H$, die also einen F_k-Wert von der Grösse 0.409 hat. — F. A. PACHLER 1919, Einschätzung der Masse eines Einzelstammes, Silva (S. 15), benutzt seinerseits den anderen Näherungswert 3 und erhält demgemäss die entsprechende Formel $V = \frac{3}{8} D^2 H$, die also einen F_k-Wert = 0.477 besitzt. — HERSCHE 1905, Vereinfachte Berechnung stehender Stämme, Schweiz. Zeitschr. f. Forstwes., führt für abholzige Stämme noch einen kleineren Formelkoeffizienten an, nämlich $\frac{1}{3}$, und erhält somit die Formel $V = \frac{1}{3} D^2 H$. Dieser Koeffizient würde hier einem F_k-Wert von der Grösse 0.424 entsprechen. Für vollholzigere Stämme befürwortet HERSCHE verschiedene Korrektionen. — — In dem vorliegenden theoretischen Fall sind die hier angeführten Formeln in bezug auf die Nullhöhe zu akkommodieren. Bei der praktischen Vollstammkubierung sind sie am nächsten für die Brust- oder auch für eine angemessene Teilhöhenlage zu benutzen, die ersterwähnte Lage jedoch nur für grössere Stämme (vgl. weiter unten).

einen stetig sinkenden Charakter für steigende r-Werte besitzt (vgl. Formel (9)), gibt es nur einen gemeinsamen Punkt; Tangenten oder Aussenlinien zu den Kurven kommen unter den gegebenen Formeln nicht vor (vgl. S. 37 und Fig. 11—13)). Zwischen diesen zwei Schnittpunkten besteht die Ungleichung $F_k > F_\alpha$ und ausserhalb derselben umgekehrt die Ungleichung $F_k < F_\alpha$.

Der Vollständigkeit halber sei noch betreffs der Walze an die ergänzten Formeln für abgestumpfte Körper der erwähnten drei letzten Kubierungsformeln erinnert. Diese Formeln sind nämlich, wie bekannt, in jener Form auch für die Walze exakt.

Die hier zusammengestellte Formelliste nebst den verschiedenen Modifikationen, die in der zugehörigen Fussnote angeführt sind, hat noch nicht alle für die praktische Stammkubierung sich ergebenden, wirklich in Frage kommenden Möglichkeiten des Formelkonstruierens für den jetzt behandelten Fall — eindurchmessrige Kubierungsformeln — erschöpft. Ausserdem ist auch nicht gesagt, dass die bisherigen Formelkonstruktionen in den jeweils gegebenen Fällen als die bestmöglichen Anpassungen anzusehen sind.

In beiden Hinsichten dürfte es nun zweckmässig sein, die Frage der eindurchmessrigen Kubierungsformeln aufs neue von Grund aus, besonders mit praktischen Gesichtspunkten vor Augen, unter Behandlung zu nehmen. Dies geschieht hier auch. Bevor diese Absicht jedoch ausgeführt wird, scheint es, wegen gewisser unten sich ergebender Umstände, angebracht zu sein, erst die theoretische Seite der Frage noch ein wenig weiter zu entwickeln und besonders die Eigenschaften der echten Formzahlenkurven etwas näher zu studieren.

* * *

Die fraglichen Kurven gehen für $r = -1$ sämtlich ins Unendliche und haben demnach die gemeinsame Asymptote $r = -1$. Vgl. Fig. 7.[1]

Die Grenzfälle des Bruches $\frac{a}{H}$ erhält man, wenn $\alpha = 1$ (d. h. $a = H$), bzw. $= \text{Null}$ gesetzt wird. Im erstgenannten Fall wird die Formzahl $= \infty$ (wenn r grösser als Null ist). Der andere Grenzfall gibt die sog. absolute Formzahl F_0, für welche die bekannte Formel

[1] Der Anschaulichkeit halber sind in Fig. 7 auch negative Werte für r (bis -1) angewandt. Im Hinblick auf die Art der vorliegenden Studie besitzen die negativen Werte des Formexponenten r bekanntlich sonst kein Interesse.

(9) $$F_0 = \frac{1}{1+r}$$

gilt. Diese Kurve ist eine gleichseitige Hyperbel, deren andere Asymptote die gegebene Abszissenachse ist. Vgl. Fig. 7.

Welchen Wert α auch hat, gibt die Formel (7) für F_α den Wert Eins, wenn r gleich Null ist, d. h. alle F_α-Kurven haben einen gemeinsamen Punkt: $r = 0$; $F_\alpha = 1$.

Ferner sind die Kurven — wie schon aus Fig. 7 zu ersehen ist — je für sich durch ein Minimum charakterisiert. Für den r-Wert, der einem Minimumpunkt entspricht, gibt der jeweils in Rede stehende F_k-Wert seine grösste positive Abweichung von dem entsprechenden F_α-Wert (nämlich in dem Falle, dass die fragliche F_k-Wagrechte höher als dieser Punkt liegt).

Mittels Derivation kann der Minimumpunkt für jeden fraglichen α-Wert aus der Kurvengleichung (7) bestimmt werden.

Für die Abszisse des Minimumpunkts erhält man erstens den Wert [1]

(10) $$r_{\alpha_{mp}} = -\left(1 + \frac{1}{\log(1-\alpha)}\right).$$

Substituiert man weiter diesen $r_{\alpha_{mp}}$-Wert in Formel (7), so erhält man die entsprechende Ordinate

(11) $$F_{\alpha_{mp}} = -\log(1-\alpha) \cdot (1-\alpha)^{\left(1 + \frac{1}{\log(1-\alpha)}\right)}.$$

Vgl. Fig. 7. [2] [3] —

[1] In dieser Studie werden nur die natürlichen Logarithmen benutzt.

[2] Z. B. für die Minimumpunkte der der HUBER'schen und der HOSSFELD'schen Kubierungsformeln entsprechenden F_α-Kurven erhält man folgende Koordinaten: $r_{\frac{1}{2}mp} = 0.443$, $F_{\frac{1}{2}mp} = 0.942$; $r_{\frac{1}{3}mp} = 1.468$, $F_{\frac{1}{3}mp} = 0.735$. Die in Frage stehenden Wagrechten F zeigen mithin folgende maximale positive Abweichungen von dem gegebenen F_α-Wert aus gerechnet: $+\Delta_{\max}$ (HUBER) $= 6.15\ \%$; $+\Delta_{\max}$ (HOSSFELD) $= 2.07\ \%$.

[3] Die verschiedenen Minimumpunkte lassen sich im Anschluss an die Anschauung, dass α als eine zwischen den Grenzwerten Null und Eins liegende kontinuierliche variable Grösse angesehen werden kann, zu einer Minimumkurve vereinigen.

Die Formel dieser Kurve wird erhalten, wenn die Formel (10) in bezug auf α gelöst und der erhaltene Wert in die Gleichung (7) eingesetzt wird. Die gewonnene Formel lautet

$$F_{\alpha_{mp}} = \frac{e^{\frac{r}{1+r}}}{1+r}.$$

(Forts.)

Von den verschiedenen Problemen, die sich auf Grund der erhaltenen verschiedenen Formeln aufstellen können, möge hier besonders das u. a. von MÜLLER angeführte:[1] es heisst die Lösung für α und F_α in betreff Gleichheit des F_α-Werts für zwei bestimmte r-Werte hervorzubringen — in allgemeiner Weise entwickelt werden.

Es gilt erstens, die Gleichung (7) für die zwei jeweils in Frage stehenden r-Werte anzupassen, die rechten Glieder dieser Gleichungen unter sich gleichzusetzen und die neue Gleichung in bezug auf α zu lösen, somit

$$\frac{(1-\alpha)^{-r_1}}{1+r_1} = \frac{(1-\alpha)^{-r_2}}{1+r_2},$$

woraus

$$\alpha = 1 - \left(\frac{1+r_1}{1+r_2}\right)^{\frac{1}{r_2-r_1}}. \tag{12}$$

Dieser α-Wert, in die Formel (7) eingesetzt, gibt die Formel derjenigen F_α-Kurve, die für die fraglichen Abszissenwerte r_1 und r_2 gleichhohe Ordinaten hat. Diese Formel lautet

$$F_{\alpha_{r_1 r_2}} = \frac{1}{1+r}\left(\frac{1+r_2}{1+r_1}\right)^{\frac{r}{r_2-r_1}}. \tag{13}$$

Den gemeinsamen Ordinatenwert für die Abszissen r_1 und r_2 erhält man ferner aus dieser Formel, wenn statt des variablen Koeffizienten r entweder r_1 oder r_2 eingesetzt wird.[2]

* * *

Diese Kurve ist ihrerseits u. a. durch ein Maximum $F_{\alpha_{m_{Mp}}} = 1$ für $r = 0$ und zwei diesem naheliegende Inflexionspunkte $F_{\alpha_{m_{ip}}} = 0.886$ und $= 0.305$ für $r = \pm\sqrt{\frac{1}{2}}$ charakterisiert. Der Maximumpunkt der Minimumkurve ist der Minimumpunkt der F_α-Kurve für $\alpha = 1 - \frac{1}{e}$; diese zwei Kurven tangieren folglich einander. — Vgl. Fig. 7.

[1] U. MÜLLER 1923, l. c. (S. 17.) Vgl. die 1. Auflage 1899. (S. 16—17.)

[2] PETRINI (vgl. S. 9 Fussnote) hat sich dieses MÜLLER'schen Verfahrens bei der Herleitung seiner Formeln bedient. Gibt man in den Formeln (12) und (13) dem einen signierten r den Wert 1 und dem anderen den Wert 1.5, so erhält man für α den Wert 0.36 und für die echte Formzahlenkurve die Gleichung $F_{0.36} = \frac{1.25^{2r}}{1+r}$. Für den fraglichen Ordinatenwert wird drittens der Wert $\frac{25}{32}$ erhalten. Diese Zahlenwerte cha-

Es wird hiernach die Frage über die Aufstellung von eindurchmessrigen Stammkubierungsformeln für Vollkörper als solche teils in betreff der Aufstellung eventueller neuer praktischer Formeln, teils in bezug auf die ev. Zurechtstellung der alten Formeln behandelt.

Die zwei im Anfang dieser Studie angegebenen Verfahren zur Aufstellung von Stammkubierungsformeln sind zu benutzen.

Bei der theoretischen Herleitung von Kubierungsformeln können verschiedene Ausgangspunkte gewählt werden. Einer wäre z. B. die gleich oben angeführte, von MÜLLER gestellte Bedingung, dass die betreffende Volumformel zwei mit bestimmtem Ziel von vornherein theoretisch festgesetzten Fällen genau entsprechen soll. [1]

Eine andere Sache ist aber, ob es sich wirklich lohnt und ob es auch wirklich zum erhofften Ziel führt, derart angelegte theoretische Bedingungen für den jetzt vorliegenden Fall — die eindurchmessrigen Stammkubierungsformeln — aufzustellen und durchzuführen.

Es scheint in der Tat, als wären die eindurchmessrigen Formeln, besonders in der Praxis, doch recht bedingte Kubierungsformeln, [2] die leicht die zarteren theoretischen Wägungen als übertheoretisiert und unstichhaltig erscheinen lassen (vgl. z. B. weiter unten). [3] Ausserdem

rakterisieren die angeführte erste PETRINI'sche Stammkubierungsformel. — Für diese Formel gelten übrigens folgende Minimumpunkt- und positive Maximalabweichungswerte, für welche der Autor selber probeweise Annäherungswerte gegeben hat: $r_{0.36_{mp}} = 1.2407$; $F_{0.36_{mp}} = 0.7764$; $+\Delta_{max} = 0.62\ \%$.

[1] PETRINI (1926, l. c.) versucht diese zwei Fälle auf Grund der Breite der Stammformvariation so zu bestimmen, dass gewisse theoretisch bestimmte positive und negative grösste Abweichungen in betreff dieser Grundfälle ungefähr gleich wiegen. Beispiele dieser Versuche sind in den Fussnoten S. 9 und 12 (2) hier angeführt.

[2] Abgesehen von den verschieden ausgebildeten Stammhauptformvariationen und Stammverteilungen verschiedener Holzarten bzw. Wuchsverhältnisse sei hier besonders an die in recht weiten Grenzen variierende Anschwellung des unteren Stammteils, an die mehrfachen anderen sekundären Störungen in dem Verlauf der Stammkurve (Periodizität des Wuchses, Astquirle, Stammdefekte usw.) sowie an die Messungs- und Beobachtungsfehler (vgl. z. B. TISCHENDORF 1925) erinnert.

W. TISCHENDORF 1925, Die Genauigkeit von Messungsmethoden und Messungsergebnissen bei Holzmassenermittlungen. Forstwiss. Cbl.

[3] Die Mindestforderung, die im Zusammenhang mit einem derartigen Verfahren jedenfalls gestellt werden müsste, ist die, dass wenigstens das Stammvolumen in seiner Gesamtheit (und auf eine richtig abgewogene Weise) in Betracht gezogen wird. Es sei hierzu die PETRINI'sche Anpassung des erwähnten MÜLLER'schen Verfahrens, in welcher z. B. die Ausbauchung der unteren Stammpartie ganz ausser Acht gelassen ist, erwähnt. Vgl. die Fussnoten S. 20 (2) und 22 (2).

kann bei einer in erwähnter Weise konzipierten Formelentwicklung den in der praktischen Formelanwendung bedeutungsvollen Momenten: Einfachheit sowohl in betreff des Formelkoeffizienten wie der Teilhöhenlage der Durchmesserermittlung, keine zweckbewusste Beachtung geschenkt werden.[1] Ferner scheint noch die Einwirkung besonderer, noch nicht näher untersuchter Momente hinzuzukommen (vgl. weiter unten).

Die Erfahrung dürfte in der Tat gezeigt haben, dass die im allgemeinen praktischen Gebrauch sich bewährenden eindurchmessrigen Formeln, soweit nämlich solche überhaupt Anwendung finden, auf einer etwas allgemeineren und Formeleinfachheit verleihenden Basis als der besprochenen theoretischen konstruiert und formuliert werden müssten. Die Ausgangspunkte, die demgemäss schon von altersher aufgestellt worden sind und die auch noch heute gelten, lauten bekanntlich:[2]

Während mit der Formel eine möglichst gute Gesamtanpassung an die vorkommenden Stammformvarianten angestrebt wird, sollte sie in einfacher Form aufgebaut und in bezug auf die Durchmesserhöhenlage rechnerisch bequem definiert sein.

Es scheint nun am vorteilhaftesten zu sein, die Teilhöhenlage des Durchmessers zum ersten Ausgangspunkt der Aufstellung von Stammkubierungsformeln zu nehmen.

Mit Rücksicht darauf, dass der Stamm bald im Liegen, bald im Stehen zu kubieren ist, können in der Praxis bekanntlich verschiedene Durchmesserteilhöhenlagen in Frage kommen. Es kann somit zweckmässig sein, hier alle als rechnerisch einfach zu bezeichnenden Teilhöhenlagen, die überhaupt bei der Kubierung von Baumstämmen in Betracht kommen, vorläufig zu prüfen.

In diesem Sinne werden folgende Teilhöhenlagen etwas näher untersucht:[3] $1/2$, 0.4, $1/3$, 0.3, $1/4$, $1/5$, $1/6$, $1/7$, $1/8$, $1/9$, $1/10$ und $1/20$. Ausserdem könnte noch theoretisch die Nullhöhe erwähnt werden, statt deren in der Praxis jedoch, und zwar wegen der unregelmässigen Ausbauchung des unteren Stammteils sowie zwecks möglichst bequemer Durchmesser-

[1] Vgl. z. B. die recht unbequemen Formeln PETRINI's S. 9 Fussnote.

[2] Vgl. z. B. U. MÜLLER 1923, l. c. (S. 23.)

[3] Aus mehreren Gründen ist es kaum zweckmässig, bei der Anwendung eindurchmessriger Stammkubierungsformeln höher hinauf als bis zur Halbhöhe zu gehen.

anpassung die Brusthöhe allgemein zur Anwendung gekommen ist.[1] Auch hier ist in dieser Hinsicht versuchsweise zu der Brusthöhe gegriffen worden.

Die Frage der eventuell möglichen neuen Stammkubierungsformeln darf nun nicht gern primär mit den oben erwähnten, von altersher aufgestellten Kubierungsformeln verknüpft werden. Es ist nämlich, wie bemerkt, gar nicht gesagt, dass diese für den echten Baumstamm überhaupt richtig angepasst sind. In der Tat sind sie ja nur für theoretisch formulierte Annäherungskörper mit bestimmten Voraussetzungen aufgestellt worden.

Die Aufgabe soll hier also frei durch genaue Messungen an natürlichem Stammaterial gelöst werden. Es gilt mit anderen Worten, durch Einzelkubierungen und Mittelwertberechnungen die besten einfachen Koeffizienten für den Zylinder $G_\alpha H$ bzw. für die Rechtecksäule $D_\alpha^2 H$ (vgl. weiter unten) der verschiedenen rechnerisch einfachen Durchmesserteilhöhenlagen in betreff des Stammvolumens aufzufinden. Erst nach der Lösung dieser Frage scheint es zweckmässig, nach einer Anknüpfung an die in Frage stehenden theoretischen Momente zu streben.

In Übereinstimmung hiermit ist hier, wie auch schon oben erwähnt, ein echtes Stammaterial zur Grundlage der Untersuchung genommen worden.

Die Untersuchung ist hier eine prinzipielle. Ein relativ begrentztes exemplifikatorisches Stammaterial dürfte somit als erster Musterzeiger genügen.

Es sind hier 24 Kiefernstämme untersucht worden. Sie sind gleichmässig aus 6 verschiedenen Beständen verschiedener Waldtypen (Cladina-Typ (CIT), Vaccinium-Typ (VT) und Oxalis-Myrtillus-Typ (OMT)) und verschiedenen Alters zusammengebracht.

Die Hälfte der Probestämme misst über die Rinde genau 5 Engl. Zoll in der 6 m-Höhe, und die andere Hälfte ist in derselben Höhe ebenso

[1] Auf die Schwierigkeiten, die bei der Behandlung der Stammkubierungsfrage sowohl in theoretischer wie praktischer Hinsicht aus der unregelmässigen unteren Stammausbauchung entstehen, braucht wohl hier nicht besonders eingegangen zu werden. Es sei jedoch z. B. auf LÖNNROTH 1925, S. 203 ff. und 233 ff. hingewiesen.
E. LÖNNROTH, Untersuchungen über die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger naturnormaler Kiefernbestände. Acta forest. fenn., 30, N:o 1.

genau 10 Zoll stark. Infolge der verschiedenen Waldtypen sind die Stammhöhen für die sonst gleichdicken Stämme sehr verschieden (5″: CIT von 11 bis 12 1/2 m, VT von 14 1/2 bis 16 m, OMT von 18 bis 19 1/2 m; 10″: CIT von 15 1/2 bis 17 m, VT von 20 bis 21 m, OMT von 24 bis 25 1/2 m). Die Anschwellung der unteren Stammpartie wie auch die Stammform als solche sind ebenso auf den verschiedenen Typen recht verschieden. — Die Probestämme sind aus Kauttua in West-Finnland und bilden einen Teil eines grösseren, vom Verf. 1913 mit der Konstantkluppe für einen anderen Zweck gesammelten Materials.

Das Grundvolumen der Stämme, d. h. das Volumen, auf Grund dessen die gesuchten Formelkoeffizienten der verschiedenen Teilhöhenlagen zu berechnen sind und mit welchem die verschiedenen später vorgeführten Formelvolumina ferner zu vergleichen sind, ist durch einmetersektionsweise Kubierung nach der Mittenflächenformel erhalten. Der Stamm (mit Rinde) ist in seiner ganzen Länge nach vom Bodenpunkt bis zur Stammspitze kubiert.

Die Kubierungsergebnisse sind in einer Tabelle am Schluss dieser Studie zusammengefasst. Die Grundvolumina sind in absolutem Mass, die verschiedenen, weiter unten näher begründeten Vergleichsvolumina entsprechend ihren Abweichungen von diesen Grundvolumina in Prozenten angegeben. Arithmetische Mittelzahlen für die Abweichungsprozente der verschiedenen Serien sind berechnet (m). Neben diese Werte sind die ebenso wichtigen und aufklärenden Dispersions- (Streuungs-)werte (σ) der verschiedenen Formelresultate gestellt.[1] Schliesslich sind auch die entsprechenden mittleren Fehler ($\varepsilon(m)$ und $\varepsilon(\sigma)$) berechnet und angeführt. — Die erhaltenen Resultate gelten also zunächst nur für den berindeten Kiefernnutzstamm (in dem von dem Repräsentativitätsmass des Materials gestatteten Grade). Inwieweit sie auch für Stämme anderer Art anzupassen sind, bzw. auf welche Weise sie für andere Fälle zu modifizieren wären, können fortgesetzte Untersuchungen zeigen.

Für alle 24 Probestämme wurde der Durchmesser in allen erwähnten zwölf Teilhöhenlagen sowie in der Brusthöhe ermittelt. Nachdem jeweils das fragliche Zylindervolumen $G_\alpha H$ erhalten war, wurde der Zylinderkoeffizient (die natürliche echte Formzahl) F_{α_k} durch ein-

[1] Die Dispersion ist das quadratische Potenzmittel der Abweichungen der einzelnen Varianten vom arithmetischen Mittelwert der Reihe aus gerechnet.

fache Schlussrechnung $F_{\alpha_k} = \frac{V}{G_\alpha H}$ (vgl. Formel (6)), wo V das Grundvolumen des Stammes war, berechnet. Weiter wurde der Koeffizient F_{α_c} für die entsprechende Rechtecksäule $D_\alpha^2 H$ gefunden, wenn F_{α_k} mit $\frac{\pi}{4}$ multipliziert wurde. Dieser Koeffizient kann vielleicht hier »Prismenkoeffizient« genannt werden. Er bezweckt, die Stammkubierungsformel allgemein in der Form $V = F_c D^2 H$ schreiben zu können.

Über diese Formelform sei hier in prinzipieller Hinsicht hervorgehoben, dass für die Baumstammkubierung als solche natürlicherweise kein sachlicher Unterschied zwischen den zwei Formelformen $V = F_k G H$ und $V = F_c D^2 H$ besteht. Der Formelkoeffizient ist ja eine Grösse, die komplex von mehreren verschiedenartigen Umständen abhängt. Die Resultante dieser Umstände wirkt ihrerseits naturgemäss so, dass es zwecks einer einfachen Formelform in gegebener Durchmesserteilhöhenlage bald am besten ist, den Faktor $\frac{\pi}{4}$ in seiner anfänglich primären Lage innerhalb des Faktors G beizubehalten, bald aber vorteilhafter, zwei unschöne Faktoren F_k und $\frac{\pi}{4}$ formal zu einem einzigen schönen Produkt F_c verschmelzen zu lassen und dabei D^2 freizugeben. Praktisch liegt hier dagegen der Unterschied vor, dass die F_c-Formeln ohne Tabellen im allgemeinen bequemer als die F_k-Formeln zu handhaben sind.[1] —

Aus den erhaltenen einzelnen Koeffizientenwerten wurden die arithmetischen Mittelwerte (m) für eine jede hier angegebene Teilhöhe (sowie für die Brusthöhe) berechnet. Da diese Mittelwerte schon als Koeffizienten für die fraglichen Stammkubierungsformeln angewandt werden könnten, werden sie hier mit F_k und F_c bezeichnet. Ausserdem wurden die entsprechenden Variationskoeffizienten (v) und die prozentischen mittleren Fehler ($\varepsilon(m)$, $\varepsilon(v)$) bestimmt. Die erhaltenen Werte gehen aus der folgenden Zusammenstellung hervor:[2]

[1] U. a. wegen dieser »Quadratflächenkubierungsformeln» wäre zu wünschen, dass die forstlichen Hilfstabellen neben den Kreisflächentafeln auch Quadratflächentafeln enthielten.

[2] Der Variationskoeffizient ist bekanntlich die in Prozenten vom arithmetischen Mittelwert ausgedrückte Dispersion.

Dass diesmals der Variationskoeffizient und nicht die Dispersion benutzt ist, hat darin seinen Grund, dass das ersterwähnte Charakteristikum für F_k und F_c gleich ist, was aber die Dispersion als solche nicht ist. Ebenso sind die entsprechenden prozentischen mittleren Fehler unter sich gleich.

(Forts.)

Charakteristika einiger Stammkubierungsformeln.

Charakteristika	Teilhöhen												Brusthöhe
	$\frac{1}{2}$	0.4	$\frac{1}{3}$	0.3	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{20}$	
F_k	1.022	0.868	0.794	0.760	0.711	0.664	0.624	0.597	0.575	0.554	0.539	0.445	0.501
F	0.802	0.682	0.623	0.597	0.559	0.521	0.490	0.467	0.452	0.435	0.424	0.349	0.393
v . . . %	3.0	2.7	3.0	2.9	2.7	3.0	3.4	3.8	4.1	4.4	4.8	5.5	7.7

Die prozentischen mittleren Fehler liegen zwischen den Zahlenwerten: $\varepsilon(m) = 0.6$ und $= 1.8$; $\varepsilon(v) = 0.4$ und $= 1.1$

Die Tabelle ist sehr instruktiv.

Betrachtet man nämlich erstens die Zahlenhöhe des Variationskoeffizienten an sich, so fällt der recht oder sogar sehr kleine Zahlenwert dieses Koeffizienten für die etwa acht ersten Teilhöhenlagen ins Auge. Dies bedeutet eine verhältnismässig kleine Materialstreuung in diesen Höhenlagen, d. h. entsprechend eine recht bemerkenswerte Sicherheit der erhaltenen Resultate, so dass also einerseits das benutzte Material, trotz seiner Begrenztheit, wohl als recht signifikant für die hier aufgestellte Aufgabe bezeichnen werden könnte. Andrerseits weist die erwähnte Tatsache darauf hin, dass die fraglichen Teilhöhenlagen also bis ungefähr zur Fünftel- bzw. zur Siebentelhöhe herab verhältnismässig gute Durchmesserlagen für die Volumbestimmung des Stammes sein dürften.

Zweitens fesselt die gewissermassen gesetzmässige Veränderlichkeit der Zahlenhöhe des Variationskoeffizienten die Aufmerksamkeit.

Die recht starke Steigung des in Frage stehenden Zahlenwerts für die untersten Teilhöhenlagen mit dem Sinken der Teilhöhe ist

Der Variationskoeffizient ist ferner formal gleich der Dispersion in der Kubierungstabelle am Schluss dieser Studie, da sich diese Dispersion ja auf entsprechende prozentische Einzelwerte basiert. Sachlich sind diese zwei Charakteristika jedoch in der Hinsicht verschieden, dass, während der Variationskoeffizient hier die in bezug auf den Mittelwert prozentisch berechnete Dispersion ist, sich die Dispersion dort auf die von den einzelnen Grundwerten aus berechneten prozentischen Abweichungen der Vergleichswerte gründet. Die Zahlenwerte dieser zwei Charakteristika sind demgemäss nicht gleich, obwohl andrerseits die bezüglichen Unterschiede natürlich hier nicht gross sein können.

natürlich nicht zu verwundern. Dagegen ist die etwa vorkommende Wellenbewegung dieses Zahlenwerts zwischen dem Halb- und dem Zwanzigstelhöhenpunkt. interessanter, indem es scheint, als ob zwei Minima und ein Maximum dazwischen lägen.

Die Unterschiede der verschiedenen zunächst in Betracht kommenden Zahlenwerte sind freilich nicht so gross, dass es jetzt möglich wäre, die genannten Singularpunkte als sicher zu bezeichnen (die Unterschiede der betreffenden Zahlenwerte fallen innerhalb der Zufallsgrenzen), aber es scheint andrerseits doch wahrscheinlich, dass ein Sinn in der zu beobachtenden Erscheinung liegen könnte. Fasst man nämlich die verschiedenen untersuchten Stammkurven näher ins Auge, so scheint daraus hervorzugehen, dass einerseits der konkave Teil der Stammkurve im Mittel am regelmässigsten (sehr schwach konkav) in der Nähe des Wendepunkts,[1] d. h. hier etwa in der Viertelhöhe, also gerade ungefähr in der Zone des unteren der in Rede stehenden Minimumpunkte des Variationskoeffizienten hinläuft. Andrerseits scheint das Gebiet der Vier-Zehntelhöhe, wo also das andere Minimum liegt, nach okular gemachter Schätzung im Mittel den charakterfestesten Teil der hier wieder ausbauchenden Stammkurve zu sein.

Zwischen diesen zwei Punkten scheint das Gebiet der Drittelhöhe umgekehrt ein Maximum des Variationskoeffizienten zu charakterisieren. Einen entsprechend hohen Zahlenwert des besprochenen Charakteristikums zeigt hier auch die Halbhöhe, sowie nach unten erst die Fünftelhöhe. (Vgl. hierzu auch die entsprechenden Dispersionswerte in der Kubierungstabelle am Schluss dieser Studie.)

Aus dem Gesagten dürfte sonach mit gewissem Vorbehalt hervorzugehen, dass sowohl die Huber'sche wie die Hossfeld'sche Teilhöhe kaum zu den besten Durchmesserlagen gehören dürften,[2] sondern dass der Durchmesser am vorteilhaftesten entweder zwischen diesen beiden Höhenlagen in der Vier-Zehntelhöhe oder auch weiter unten in der Viertelhöhe zu suchen wäre. Ferner wäre also die Fünftelhöhe in der Frage der Stabilität der Stamminhaltszahlen den zwei genannten, von altersher benutzten Teilhöhen ebenbürtig. Endlich dürften auch die Sechstel-

[1] Nach Einzelschätzungen und Mittelwertberechnung liegt der Wendepunkt für das benutzte Stammaterial im Durchschnitt in der Teilhöhe 0_{28}. — In einer später zu veröffentlichenden Untersuchung gedenkt Verf. auf die Variation der Höhenlage des Inflexionspunkts näher einzugehen.

[2] Entsprechend hat auch die Petrini'sche Teilhöhe 0_{34} ein Zwischenmaximum der Dispersion (gemäss der Tabellenrechnung am Schluss dieser Studie) von 3.1 % gezeigt. Vgl. S. 9 Fussnote.

sowie die Siebentelhöhe für die Stammkubierung noch nicht als ungeeignet bezeichnet werden können. Dagegen scheinen die noch niedriger liegenden Teilhöhenlagen und besonders die absolute Brusthöhe unsichrere bzw. recht schwankende Einzelresultate zu geben, was ja auch ganz natürlich ist.

Wollte man aus diesen Ergebnissen noch etwas weitergehende Schlüsse ziehen, so könnten besonders die verhältnismässig sehr guten Resultate der Teilhöhenlagen weiter unterhalb der Stammitte von z. B. 0.3 bis zu $^1/_5$ oder sogar bis zu $^1/_7$ überhaupt, als recht bedeutungsvoll für den wachsenden Baum bezeichnet werden.[1] Es scheint somit, als hätten die besonderen biologischen Momente, die zu Gunsten dieser früher als weniger vorteilhafte Teilhöhen bezeichneten niedrigen Durchmesserlagen wirken, bis dato neben den mangelhaften mathematisch-theoretischen Auseinandersetzungen zu wenig Beachtung gefunden.[2] Weitere Untersuchungen werden wohl diese Fragen genauer klarlegen können. —

Betrachtet man ferner (in der obigen Tabelle) die erhaltenen Mittelwerte F_k und F_c etwas näher, so stellt sich heraus, dass für die wichtigeren Teilhöhenlagen sowie für die Brusthöhe einfache Koeffizienten diesen erhaltenen mittleren Zahlenwerten entweder sehr oder auch recht nahe stellen. Es lässt sich das folgende, die Sache illustrierende Schema aufstellen:[3]

---

[1] Es sei erwähnt, dass neulich HILDÉN für die Birke gezeigt hat, dass von verschiedenen absoluten Höhenlagen der Durchmesserermittlung diejenige um die 3 m-Höhe die im Mittel beste Stabilität in betreff des Stammvolumens (für etwa mittellange Stämme) besass; — also auch eine recht niedrige Durchmesserlage.

N. A. HILDÉN 1926, Koivun kuutioimisesta massataulukoiden avulla. Pohjois-Karjalasta kootun aineiston nojalla. (Mit deutschem Referat: Über die Kubierung der Birke mittels Massentafeln. Basiert auf Material aus Nord-Karjala.) Acta forest. fenn., 32, N:o 2.

[2] Es scheint somit, wenigstens auf Grund solcher theoretisch formulierter Stammkurven, die z. B. keinen Inflexionspunkt besitzen, nicht möglich zu sein, auf rein theoretischem Wege die Durchmesserteilhöhenlage zu finden, die die verhältnismässig kleinste Volumstreuung (-dispersion) gibt. Vgl. die Fussnoten auf S. 12 (2), 13 (1 und 3), 19 (2) und 22 (2), wo ein Beispiel eines derartigen, auf fehlerhafte Prämissen gegründeten theoretischen Versuchs referiert ist.

[3] Von den prozentischen Abweichungen der als einfach bezeichneten Näherungswerte der erhaltenen Mittelwerte im Verhältnis zu den entsprechenden mittleren prozentischen Abweichungen in der Kubierungstabelle am Schluss dieser Studie gilt dasselbe, was über den Variationskoeffizienten und die Dispersion in dem letzten Absatz der Fussnote S. 17—18 hervorgehoben wurde.

Charakteristika einiger Stammkubierungsformeln.

Charakteristika	Teilhöhen												Brusthöhe
	$\frac{1}{2}$	0.4	$\frac{1}{3}$	0.3	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{20}$	
F_k	·	·	0.794	·	0.711	0.661	·	0.597	·	·	·	·	0.501
Ersatzzahl	·	·	0.8	·	0.7	$\frac{2}{3}$	·	0.6	·	·	·	·	$\frac{1}{2}$
F_c	0.802	0.682	·	0.597	·	·	0.490	·	·	·	·	·	·
Ersatzzahl	0.8	$\frac{2}{3}$	·	0.6	·	·	$\frac{1}{2}$	·	·	·	·	·	·
Abweichung der Ersatzzahl, %	−0.3	−2.3	+0.3	+0.5	−1.6	+0.5	+2.1	+0.5	·	·	·	·	−0.3

Billigt man im Namen der Formeleinfachheit diese einfachen Ersatzzahlenwerte für die verschiedenen Teilhöhenlagen, was wohl schon darum geschehen kann, weil ja auch die erhaltenen Mittelwerte ihrerseits nur von relativer Genauigkeit sind (vgl. z. B. sogar die Unterschiede der zwei einander entsprechenden prozentischen Abweichungen in der oben angeführten sowie in der hintenstehenden Kubierungstabelle; vgl. auch S. 23), so kommt man zu folgenden, wenigstens für die berindete Nutzkiefer geltenden allgemeinen einfachen Stammkubierungsformeln der verschiedenen als verhältnismässig gut oder auch als anwendbar zu bezeichnenden einfachen Teilhöhenlagen, nebst der Brusthöhe:

Halbhöhe ..... $V = 0.8\, D^2 H$
Vier-Zehntelhöhe ..... $V = {}^2/_3\, D^2 H$
Drittelhöhe ..... $V = 0.8\, G H$
Drei-Zehntelhöhe ..... $V = 0.6\, D^2 H$
Viertelhöhe ..... $V = 0.7\, G H$
Fünftelhöhe ..... $V = {}^2/_3\, G H$
Sechstelhöhe ..... $V = {}^1/_2\, D^2 H$
Siebentelhöhe ..... $V = 0.6\, G H$
Brusthöhe ..... $V = {}^1/_2\, G H.$

Es stellt sich also heraus, dass allein die unsicherste alte Formel, die Smalian'sche, sich gehalten hat, und auch sie nur recht zufälligerweise. An die Stelle der Huber'schen ist die erste Huber-

AMGWERD'sche Formel getreten. Die einfache Paarformel zu der HOSSFELD'schen Formel (3.2 statt π) ist auf die neue Drei-Zehntelhöhe und auch die als Paraboloidformel bezeichnete Formel auf die neue Fünftelhöhe gesunken. In die Drittel- wie die Viertelhöhe sind entsprechend neue Koeffizienten getreten. Die Vier-Zehntel- sowie die Sechstel- und die Siebentelhöhe bezeichnen ganz neue Formeln.

Die drei alten Formeln, die HUBER'sche, die HOSSFELD'sche und die als Paraboloidformel bezeichnete Formel haben also sämtlich zu kleine Werte gegeben. Dass die zwei erstgenannten Formeln für die Kiefer im allgemeinen zu kleine Werte geben, dürfte wohl bekannt sein,[1] und dass ferner der Paraboloidkoeffizient $F_k = \frac{2}{3}$ für die Viertelhöhe durchschnittlich zu klein ist, ist ohne weiteres klar, wenn man sich erinnert, dass der primäre Inflexionspunkt der Stammkurve im Mittel in die Nähe der Viertelhöhe fällt.

Es sind also in der Sammlung der eindurchmessrigen Formeln recht tiefgreifende Umänderungen bzw. Vervollständigungen geschehen. Dass diese Veränderungen tatsächlich auch Verbesserungen (für die berindete Nutzkiefer in Finnland) sein dürften, wurde schon oben u. a. auf Grund der, trotz gemischtem Stammaterial verhältnismässig niedrigen Variationskoeffizientenwerte hervorgehoben. (Vgl. dabei, was gleich unten noch z. B. über die Verschiedenheit in den Wuchsverhältnissen betreffs der Volumformeln angeführt ist.)

In der Tabelle am Schluss dieser Studie ist die Arbeit der hier durchgemusterten Teilhöhenkubierungsformeln mittels des benutzten Probematerials durch prozentische Resultatabweichungen von den Grundvolumina veranschaulicht worden. Die Ergebnisse müssen allgemein betrachtet als verhältnismässig befriedigend bezeichnet zu werden.[2] —

[1] Vgl. z. B. U. MÜLLER 1923, l. c., sowie LAPPI-SEPPÄLÄ 1926.

M. LAPPI-SEPPÄLÄ, Eräitä näkökohtia kaadettua puuta kuutioitaessa. Metsätal. Aikakk.

[2] Dasselbe kann aber nicht von dem Ergebnis der von PETRINI (auch gerade für Vollstämme) konstruierten Formel $V = 0.73\, G_{0.34}\, H$ (seine Hauptformel; vgl. S. 9 Fussnote) gesagt werden.

Wie ersichtlich, hat diese Formel sowohl einen kleineren Koeffizienten wie auch eine kleinere Kreisfläche als die HOSSFELD'sche Formel. Da schon die HOSSFELD'sche Formel einen auffallenden Unterbetrag ergeben hat, ist es nicht zu verwundern, dass die PETRINI'sche Formel ein wirklich grosses Defizit (Gesamtmittel -9.1 %, also das Mittel rund das Fünfzehnfache der von dem Formelkonstrukteur theoretisch berechneten engeren Maximalabweichung -0.6 %) hat entstehen lassen; sämtliche 24 Stämme sind mit Minusabweichung ausgefallen. — Die PETRINI'sche Spezial-

Betrachtet man noch die erhaltenen Werte in bezug auf die verschieden ergiebigen Standorte, so gehen daraus gewisse Gruppenverschiedenheiten hervor. Da das Material jedoch recht klein ist und da die Verschiedenheiten hier noch nicht als unstreitig signifikant bezeichnet werden können (dass die bezüglichen Stammformen an sich indessen verschieden sein können, ist eine Frage für sich), so scheint es nicht möglich, hier getrennte Kubierungsformeln für verschiedene Kiefernpopulationen (Waldtypen bzw. Grössenklassen der Stämme) aufzustellen.[1] Nur die SMALIAN'sche Formel zeigt, wie auch natürlich, schon hier teilweise ganz deutliche Gruppenunterschiede, was mit zu der verhältnismässig grossen Dispersion führt. Da jedoch die Brusthöhe als Durchmesserlage für die eindurchmessrigen Kubierungsformeln auch sonst nur recht bedingte Möglichkeiten, das Volumen gut zu bestimmen, bietet, scheint es kaum vonnöten zu sein, auch noch für diese Durchmesserlage eine gegliederte Serie von Kubierungsformeln zu schaffen. —

Endlich könnte es angebracht sein, noch nach Anknüpfungen an die entsprechenden theoretisch berechneten echten Normalformzahlen zu suchen.

Vermerkt man in diesem Sinne die erhaltenen Mittelwerte F_k der verschiedenen Teilhöhenlagen auf den entsprechenden F_α-Kurven (auf den linken Schenkeln) in Figur 7 und verbindet die so erhaltenen Punkte miteinander, so erhält man ein regelmässig verlaufendes kleines Kurvenstück (siehe die »Koeffizientenkurve» F_{k_k} in Fig. 7).[2] Diese Kurve illu-

---

formelvariante für die Kiefer $V = 0.71\, G_{0,33}\, H$ hat, obwohl das Vergleichsmaterial hier gerade die (berindete) Kiefer ist, ein noch schlechteres Resultat gegeben.

Die Erzeugungskurve des Vergleichskörpers, deren sich PETRINI bedient hat (die HÖJER'sche Kurve), leidet mithin, so wie PETRINI sie benutzt hat, an Schwächen, die wenigstens für die Kubierung berindeter Kiefernnutzstämme als ganz fatal zu bezeichnen sind. Vgl. S. 13 Fussnote 3 sowie S. 20 Fussnote 2.

[1] Dass noch weitere Verfeinerungen der in Rede stehenden Formeln durch ein grösseres, auch noch nach anderen wechselnden Wuchsverhältnissen differenziertes Stammaterial zustandegebracht werden könnten, scheint ferner möglich zu sein. Eine derartige Aufgabenentwicklung dürfte jedoch in diesem Zusammenhang — eindurchmessrige Kubierungsformeln — kaum erforderlich sein. (Vgl. z. B. S. 13 nebst Fussnote 2.) — Ferner wäre auch natürlich die entrindete Kiefer als ein neuer Studiengegenstand zu behandeln.

[2] Zwischen $\alpha = 0.4$ und $= \frac{1}{2}$ sowie zwischen $= \frac{1}{10}$ und $= 0$ ist die Kurve nicht akkommodiert. Für $\alpha = \frac{1}{2}$ gilt der F_k-Wert $= 1.02$. Statt der theoretischen Nullhöhe ist hier weiter, wie mehrmals erwähnt, die Brusthöhe zur Anwendung gekommen.

striert also ihrerseits die gegenseitigen Beziehungen zwischen den F_k-Werten und den entsprechenden F_0-Kurven.

Es ist wahrscheinlich, dass z. B. verschiedene Holzarten zur Aufstellung verschiedener Koeffizientenkurven, d. h. teilweise verschiedener Kubierungsformeln Anlass geben.

Die jetzt entstandene kleine Kurve weist auf eine gute innere Festigkeit der verschiedenen Teilhöhenkoeffizienten hin, was also die hier erhaltenen Ergebnisse noch weiter bestätigt. Es scheint auch möglich zu sein, mittels dieser Kurve Formelkoeffizienten für zwischenliegende, hier nicht berechnete Teilhöhenlagen zu interpolieren.

II

Gibt man in der Formel (3) der Grösse a den Wert Null, d. h. wird der Grunddurchmesser D an der Basis des Konoids genommen, so vereinfacht sich die erwähnte Formel folgendermassen:

$$V = \frac{1}{1+r} \frac{\pi}{4} D^2 H. \tag{14}$$

Indem man in Formel (3) a mit h und D mit d bezeichnet, hat man (vgl. Fig. 2)

$$V = \frac{\left(1-\frac{h}{H}\right)^{-r}}{1+r} \frac{\pi}{4} d^2 H.$$

Bei Gleichsetzung dieser beiden Ausdrücke von V ergibt sich mit Lösung für H

$$H = \frac{h}{1-\left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{2}{r}}}, \tag{15}$$

woraus durch Substitution in die Formel (14)

$$V = \frac{1}{(1+r)\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{2}{r}}\right]} \frac{\pi}{4} D^2 h. \tag{16}$$

Diese Formel ist der allgemeine Ausdruck der absoluten Richthöhenvolumformel.

Die dem Formeltyp (5) entsprechende Formelform lautet hier

(17) $$V = \vartheta_0 G h,$$

wo also

(18) $$\vartheta_0 = \frac{1}{(1+r)\left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2 r\right]}$$

ist und die folglich den Namen absolute Richthöhenformzahl tragen kann.

Wird weiter d durch eine relative Zahl in bezug auf D ausgedrückt, somit $\frac{d}{D} = \delta$, wo δ einen Wert zwischen Null und Eins hat, so geht die allgemeine ϑ_0-Formel in die Formel der in betreff des Verhältnisses $\frac{d}{D}$ echten absoluten Formzahl über, somit

(19) $$\vartheta_{0\delta} = \frac{1}{(1+r)\left(1 - \delta^{\frac{2}{r}}\right)}.$$

Für die Theorie der fraglichen Volumbestimmung sind sowohl $\vartheta_{0\delta}$ wie h von speziellem Interesse, weil sie beide sowohl von dem δ-Wert wie von dem Wert des Formexponenten r abhängig sind, $\vartheta_{0\delta}$ an sich und h im Verhältnis zu der Ganzhöhe H des Konoids.

Es sei zuerst der Faktor $\vartheta_{0\delta}$ analysiert.

Um die Variation dieses Faktors in betreff des variierenden Formexponenten r zu veranschaulichen, sind in Fig. 8 einige $\vartheta_{0\delta}$-Kurven für gewählte δ-Werte dargestellt. Diese Kurven ermöglichen ihrerseits, eine theoretische Vorprüfung der gegebenen ebenso theoretisch konstruierten Stammkubierungsformeln des Typs (17) mit konstantem Faktor ϑ_k, vorzunehmen. (Im nächstfolgenden Kapitel wird auf die praktische Seite der Richthöhenformeln überhaupt, eingegangen werden.)

Demgemäss seien die gegebenen festen ϑ_k-Werte und die entsprechenden variablen echten $\vartheta_{0\delta}$-Werte der Formel (19) miteinander verglichen.

Die diesbezüglichen bekannten Volumformeln sind von Pressler und Wimmenauer aufgestellt worden,[1] und weiter bildet die Smalian'sche

[1] M. R. Pressler 1855, Beiträge zur Forst-Mathematik. Jahrb. d. Königl. sächs. Akad. f. Forst- u. Landw. zu Tharand, Bd. XI. — Ders. 1857, Aufforderung und Erfahrungen bezugs der im vorigen Bande dieses Jahrbuchs mitgetheilten Neuen Stammschätzungsmethode. Ibid., Bd. XII. — etc.

K. Wimmenauer 1890, Die Schaftmassen-Ermittelung aus Grundstärke und Richthöhe. Allg. Forst- u. Jagd-Zeit. — Vgl. auch W. Gyldenfeldt 1879, Om Bestem-

(Forts.)

obenangeführte Kubierungsformel auch hier den Grenzfall durch ihren Wert $\delta =$ Null, d. h. $h = H$ und somit $\vartheta_{0_0} = F_0$. Vgl. Gleichung (9).

Die Vergleichsliste ist also die folgende:[1]

WIMMENAUER $\vartheta_k = 1$ ..... $\vartheta_{0\delta}$ für $\delta = 0.7$

PRESSLER » $= \frac{2}{3}$ ..... » » » $= \frac{1}{2}$

(SMALIAN » $= \frac{1}{2}$ ..... » » » $= 0$).

Die ausgezeichnete gegenseitige Übereinstimmung des PRESSLER'schen Linienpaars in dem am nächsten in Frage kommenden r-Gebiet geht aus Fig. 8 klar hervor. Im Gegensatz hierzu ist die der WIMMENAUER'schen Formel entsprechende $\vartheta_{0\delta}$-Kurve recht steil. — Die Verhältnisse zwischen ϑ_k und $\vartheta_{0\delta}$ sind sonst im grossen ganzen dieselben wie oben zwischen F_k und F_α. Eine nähere diesbezügliche Analyse dürfte daher nur für einige Fragen angebracht sein.

Die Grenzfälle der Formel (19) ergeben sich für die Werte $\delta =$ Null, d. h. $d =$ Null, — bzw. $\delta = 1$, d. h. $d = D$.

Für den ersterwähnten Fall geht die genannte Formel, wie auch schon oben erwähnt, in die Formel (9) über.

Der andere Grenzfall kann auf zweierlei Weise entstehen. Einerseits so, dass der obere Durchmesser sich dem Basaldurchmesser nähert, um schliesslich mit ihm zusammenzufallen, d. h. der Faktor h nähert sich entsprechend dem Grenzwert Null. Andrerseits so, dass r sich dem Grenzwert Null nähert, d. h. das Konoid nähert sich der Zylinderform.

---

melsen af Formtallet ved Massetaxationer. Tidsskrift for Skovbrug. — Ders. 1880, Ueber die Bestimmung der Formzahl bei der Massentaxation. Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwes. — F. A. LEHNPFUHL 1885, Die Formhöhe und ihre Bedeutung für Baumcubirung und Formzahlberechnung, sowie für die Werthsbestimmung des Langnutzholzes. Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwes. — In seinem ersten Aufsatz schlug GYLDENFELDT eine Verhältniszahl $\delta = 0.75$ und in dem erwähnten anderen eine Zahl 0.7 vor. Diese letztere Verhältniszahl wurde dann später von LEHNPFUHL und WIMMENAUER angenommen.

[1] Zum Vergleich sind in Fig. 8 noch einige andere $\vartheta_{0\delta}$-Kurven als die hier erwähnten eingezeichnet, z. B. die dem PRESSLER'schen »zweiten» Richtpunkt $\left(\delta = \frac{1}{4}\right)$ entsprechende Kurve.

M. R. PRESSLER 1865, Das Gesetz der Stammbildung und dessen forstwirthschaftliche Bedeutung insbesondere für den Waldbau höchsten Reinertrags. Leipzig. (S. 93 ff.)

Im ersterwähnten Falle nähert sich $\vartheta_{0\delta}$ dem Wert ∞, so dass sich also der Volumausdruck in der Gleichung (17) der unbestimmten Form $\infty G 0$ nähert.

In dem zweiten Falle nähert sich dagegen der Faktor $\vartheta_{0\delta}$ dem Wert Eins, weil die Potenz $\delta^{\frac{2}{r}}$ (dadurch, dass die Vergrösserung des Exponenten in der Potenz von grösserer Wirkung als die des Bruches ist und der Bruch bis zum Grenzwert kleiner als Eins ist) sich dem Grenzwert Null nähert. In diesem Falle nähert sich der Volumwert in der Gleichung (17) dem ordinären Zylinderwert Gh oder, exakter geschrieben, GH.

Ein bemerkenswertes Korollarium zu dem angeführten zweiten Fall ist, dass alle $\vartheta_{0\delta}$-Kurven sich dem schon oben charakterisierten »Zylinderpunkt» nähern. Der Zylinder ist hier ein Grenzfall, und im Sinne einer solchen Erscheinung ist das Zusammentreffen aller dieser Kurven (deren δ-Werte an sich also kleiner als Eins sind) in dem erwähnten Punkte zu verstehen.[1]

Zweitens war das Verhältnis $\frac{h}{H}$ in bezug auf den δ-Wert und den Formexponenten r zu untersuchen.

Aus der Formel (15) ergibt sich unmittelbar die Gleichung

$$\frac{h}{H} = 1 - \left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{2}{r}}, \tag{20}$$

woraus weiterhin für $\frac{d}{D} = \delta$

$$\left(\frac{h}{H}\right)_\delta = 1 - \delta^{\frac{2}{r}}. \tag{21}$$

Fig. 9 veranschaulicht ihrerseits die Variationen des $\left(\frac{h}{H}\right)_\delta$-Bruches für verschiedene gewählte feste δ-Werte in bezug auf variierenden r-Wert.

Die $\left(\frac{h}{H}\right)_\delta$-Kurven bewegen sich zwischen der Abszissenachse und der damit parallelen, also wagrechten Linie auf der Höhe Eins, d. h. zwischen den Grenzwerten $\left(\frac{h}{H}\right)_\delta = 0$ und $= 1$. Den ersteren Grenzwert findet man dadurch, dass δ in Formel (21) den Wert Eins erhält, was weiter bedeutet, dass der obere Durchmesser mit dem Basaldurchmesser zusammenfällt, wodurch also $h = 0$ wird. Der andere Grenzfall wird dadurch erreicht, dass dem Faktor d der Wert Null gegeben wird, wodurch also $\delta = 0$ und $h = H$ werden. Vgl. Fig. 9.

[1] Auch diese Kurven besitzen, wie ersichtlich, je einen Minimumpunkt, welche Punkte ferner zusammen eine Minimumkurve bilden.

Die Ordinaten der verschiedenen $\left(\frac{h}{H}\right)_\delta$-Kurven erreichen, wie aus der Formel (21) und der Figur 9 ohne weiteres zu ersehen ist, in bezug auf den Wert $r = 0$ den Wert Eins. Der »Zylinderpunkt» ist somit auch hier ein gemeinsamer Grenzfall für die verschiedenen Kurven.

Gibt man r weiter den Wert ∞, so erhält $\left(\frac{h}{H}\right)_\delta$ den Wert Null in der Gleichung (21). Dies bedeutet, dass die Kurven sich in der Unendlichkeit der Abszissenachse nähern.

Die Kurven besitzen je für sich einen Inflexionspunkt. Die jeweilige Abszisse dieses Punkts wird durch die zweite Ableitung der Formel (21) in bezug auf r gefunden, somit

$$r_{\delta_{ip}} = -\log \delta. \tag{22}$$

Substituiert man diesen $r_{\delta_{ip}}$-Wert in Formel (21), so erhält man die fragliche Ordinate

$$\left(\frac{h}{H}\right)_{\delta_{ip}} = 1 - e^{-2}. \tag{23}$$

Vgl. Fig. 9.[1]

* * *

Für die Formzahlenfrage als solche kann es von Interesse sein, die Abhängigkeit der absoluten Grundformzahl F_0 von dem Verhältnis $\frac{h}{H}$ bei feststehendem $\frac{d}{D}$-Wert theoretisch-prinzipiell klarzulegen.

Um diese Abhängigkeit näher zu zeigen, braucht man nur die Gleichung (21) in bezug auf r zu lösen und diesen Wert in die Formel (9) zu substituieren. Es wird erhalten

$$r = \frac{2 \log \delta}{\log\left(1 - \frac{h}{H}\right)} \tag{24}$$

und weiter

[1] Wie ersichtlich, liegen die Inflexionspunkte der verschiedenen $\left(\frac{h}{H}\right)_\delta$-Kurven auf einer und derselben mit der Abszissenachse parallellaufenden Geraden

$$\left(\frac{h}{H}\right)_{\delta_{ip}} = 1 - e^{-2}.$$

Diese Gerade kann hier folglich die Inflexionsgerade genannt werden.

(25) $$F_{0\delta} = \frac{1}{1 + \frac{2 \log \delta}{\log\left(1 - \frac{h}{H}\right)}}.$$

In Fig. 10 sind F_{0_δ}-Kurven speziell für das PRESSLER'sche und das WIMMENAUER'sche Richtverhältnis eingezeichnet. [1]

Nähert sich das Verhältnis $\frac{h}{H}$ dem Wert Eins, d. h. nähert sich das Konoid dem Zylinder, so nähert sich F_{0_δ} entsprechend dem Wert Eins. Für den entgegengesetzten Grenzwert $\frac{h}{H} =$ Null entspricht der Wert $F_{0_\delta} =$ Null.

Ein Teil der F_{0_δ}-Kurven ist durch einen Inflexionspunkt charakterisiert. Die Koordinaten dieses Punkts sind

(26) $$\left(\frac{h}{H}\right)_{0_{\delta_{ip}}} = 1 - (e\,\delta)^{-2}$$

und

(27) $$F_{0_{\delta_{ip}}} = 1 + \log \delta.$$

Da nun das Verhältnis $\frac{h}{H}$ hier nicht unter Null sinken kann, so ist, gemäss Formel (26), die für $\delta = \frac{1}{e}$ berechnete F_{0_δ}-Kurve die niedrigstliegende Kurve, die theoretisch einen Wendepunkt besitzt. Dieser letzte Wendepunkt fällt mit dem Nullpunkt zusammen. Vgl. Fig. 10. [2]

---

[1] In dieser wie auch in einigen anderen Figuren weiter unten laufen die steigenden Abszissenwerte vom Nullpunkt her nach links. Dies ist gemacht, um prinzipielle Übereinstimmung mit den in einigen anderen Abbildungen durch den Formexponenten r angegebenen Abszissenwerten zu erlangen. Steigenden r-Werten entsprechen nämlich für feste δ-Werte, wie bekannt, sinkende $\frac{h}{H}$-Werte.

[2] Der zusammenfassende Ausdruck dieser verschiedenen Inflexionspunkte (in betreff des als zwischen den Grenzwerten $\frac{1}{e}$ und 1 (Zylinderwert) kontinuierlich anzusehenden δ-Werts) gibt eine diesbezügliche Inflexionskurve an. Die Gleichung dieser Kurve wird erhalten, wenn man δ aus der Formel (26) löst und den erhaltenen Wert in die Formel (25) substituiert. Die Formel der Inflexionskurve lautet demgemäss

$$F_{0_{\delta_i}} = -\frac{1}{2} \log\left(1 - \frac{h}{H}\right).$$

Von dem Nullpunkt beginnend (vgl. das oben Gesagte), steigt die Inflexionskurve

(Forts.)

III

In dem vorhergehenden Kapitel wurde die Kategorie der absoluten Richthöhenformeln untersucht. In diesem Abschnitt wird das Richthöhenthema auf erweiterter Basis behandelt werden.

Nimmt man demgemäss auch den Grunddurchmesser D über der Körperbasis, wie Figur 3 zeigt, so gehen die hier in Frage kommenden Formelentwicklungen folgendermassen vor sich.

Es wird erstens erhalten (vgl. Fig. 3 und Formel (15))

$$H = a + \frac{h}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{2}{r}}}, \tag{28}$$

und weiter durch entsprechende Substitution in die Formel (3)

$$V = \frac{1}{1+r}\left\{1 + \frac{a}{h}\left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{2}{r}}\right]\right\}^{r} \frac{\pi}{4} D^2 \left\{a + \frac{h}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{2}{r}}}\right\}, \tag{29}$$

welche Volumformel also die Ganzhöhe H nicht enthält.

Formeln, die von dem allgemeinen Typ der Formeln (5) und (17) sind, kann man hieraus mehrere herleiten. Dabei entstehen entsprechend mehrere Richthöhenformzahlen.

Eine derartige Formel erhält man, wenn man das rechte Glied der Formel (29) mit der »Richtpunktshöhe» h erweitert. Es wird erhalten

$$V = \xi G h, \tag{30}$$

wo ξ durch die Gleichung

$$\xi = \frac{1}{1+r}\left\{1 + \frac{a}{h}\left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{2}{r}}\right]\right\}^{r} \left\{\frac{a}{h} + \frac{1}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{2}{r}}}\right\} \tag{31}$$

gegeben ist.

---

hier bis zu dem Punkt: $\frac{h}{H} = 1 - e^{-2}$; $F_{o\delta_i} = 1$. Dieser Punkt wird erhalten, wenn in die Formel (26) für δ dessen hier in Frage kommender Maximalwert 1 eingesetzt und die $F_{o\delta_i}$-Formel mit dem so erhaltenen $\frac{h}{H}$-Wert gelöst wird. Vgl. Fig. 10.

Für die Theorie der fraglichen Volumbestimmung ist sowohl ξ wie h von speziellem Interesse, ξ an sich und h im Verhältnis zu der »Oberhöhe» $H-a$ des Konoids, alle beide in bezug auf den Bruch $\frac{d}{D}$ und den Formexponenten r, und ξ ausserdem hinsichtlich des Verhältnisses zwischen den verschiedenen Höhencharakteristika.

Von diesen aber ist h in der fraglichen Hinsicht schon in dem vorhergehenden Kapitel dieser Studie analysiert worden. Dazu ist nur zu bemerken, dass statt der Ganzhöhe H jetzt die Oberhöhe $H-a$ einzusetzen ist.

Bei der Berechnung der Relationszahl ξ wird die Aufmerksamkeit besonders auf die Grundhöhe a gelenkt. Dabei sind verschiedene Fälle zu beachten.

Ein Fall ist ein konstanter a-Wert. Dieser Fall wird hier jedoch theoretisch nicht näher erörtert, weil Verf. eine gerade auf denselben Fall basierte taxatorische Spezialabhandlung später zu veröffentlichen gedenkt.[1]

Wird a weiter allgemein in fester Relation zu h angegeben, so ist ein Fall vorhanden, der in der praktischen Stammkubierung oder -formuntersuchung kaum von Interesse sein dürfte. Drückt man aber den Faktor a durch ein direktes Verhältnis in betreff der Ganzhöhe H aus, also wie oben $\frac{a}{H}=\alpha$, und löst man auch noch h aus der Gleichung (28), somit

$$h=(1-\alpha)\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{2}{r}}\right]H, \tag{32}$$

und substituiert diesen Wert in die Formel (31), so erhält man dagegen einen in bezug auf das Verhältnis $\frac{a}{H}$ echten ξ-Wert, der eine gewisse Bedeutung für die vorliegende Untersuchungsaufgabe besitzt. In diesem Falle wird die Formel

$$\xi_\alpha=\frac{(1-\alpha)^{-(1+r)}}{(1+r)\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{2}{r}}\right]} \tag{33}$$

erhalten.

Wird seinerseits noch d, wie auch weiter oben, durch eine relative Zahl in betreff D ausgedrückt, somit $\frac{d}{D}=\delta$, so geht die ξ_α-Formel in die Formel

[1] Vgl. jedoch weiter unten die versuchsweise Brusthöhenanpassung.

(34) $$\xi_{\alpha_\delta} = \frac{(1-\alpha)^{-(1+r)}}{(1+r)\left(1-\delta^{\frac{2}{r}}\right)}$$

über, wo also ξ_{α_δ} echt sowohl in bezug auf $\frac{a}{H}$ wie auf $\frac{d}{D}$ ist.

Lässt man in dieser Formel α sich dem Wert Null nähern, so nähert sich ξ_{α_δ} dem Grenzwert ϑ_{0_δ} in der Formel (19). Nähert sich α dem anderen Grenzfall Eins, so nähert sich ξ_{α_δ} dem Grenzwert ∞.

In der folgenden näheren Untersuchung über die Arbeit der zuletzterwähnten Formel sind für δ nur der PRESSLER'sche Wert $\frac{1}{2}$ und für α die Werte $\frac{1}{20}$ und $\frac{1}{10}$ benutzt. Die erstere Verhältniszahl α ist schon von PRESSLER und z. B. JUDEICH angeführt worden.[1]

In Fig. 11 sind die ξ_{α_δ}-Kurven für diese zwei α-Werte in betreff des PRESSLER'schen Richtverhältnisses zum Ausdruck gebracht. Zum Vergleich ist da noch die Grenzwertkurve für $\alpha =$ Null, d. h. die entsprechende ϑ_{0_δ}-Kurve aus Fig. 8 eingezeichnet. —

Wird zweitens das rechte Glied der Formel (29) mit der »Richthöhe« $a+h$ erweitert, so erhält man, wenn noch $a+h$ mit L bezeichnet wird (vgl. Fig. 3)

(35) $$V = q G L,$$

wo q (gemäss ähnlichen Umwandlungen, nach denen die Formeln (33) und (34) gleich oben entwickelt wurden) durch die Gleichungen

(36) $$q_\alpha = \frac{(1-\alpha)^{-r}}{(1+r)\left\{\alpha+(1-\alpha)\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{2}{r}}\right]\right\}},$$

bzw.

(37) $$q_{\alpha_\delta} = \frac{(1-\alpha)^{-r}}{(1+r)\left\{\alpha+(1-\alpha)\left(1-\delta^{\frac{2}{r}}\right)\right\}}$$

gegeben ist.

[1] M. R. PRESSLER. (Allg. Forst- und Jagd-Zeit., Suppl.-Bd. II, S. 94.) — Nach FR. JUDEICH 1861. (S. 119.) — Ders. 1865, l. c. (S. 131 ff.)
FR. JUDEICH 1861, Vergleichende Untersuchungen über verschiedene Kubirungsmethoden. Allg. Forst- u. Jagd-Zeit. (S. 119.)

Die φ_{α_δ}-Werte sind, wie zu ersehen, kleiner als die ξ_{α_δ}-Werte für entsprechende α-, δ- und r-Werte.

In Fig. 12 sind analog mit der Figur 11 die φ_{α_δ}-Kurven für $\delta = \frac{1}{2}$ in Verbindung mit $\alpha = 0$ (ϑ_{0_δ}-Kurve), $= \frac{1}{20}$ und $= \frac{1}{10}$ eingezeichnet. —

Schliesslich sei noch die Formel

$$V = \chi G\left(L + \frac{a}{2}\right) \tag{38}$$

durch Erweiterung des rechten Gliedes der Formel (29) mit dem Höhenfaktor $L + \frac{a}{2}$ gebildet, in welcher Formel χ analog durch die Gleichungen

$$\chi_\alpha = \frac{(1-\alpha)^{-r}}{(1+r)\left\{1{,}5\,\alpha + (1-\alpha)\left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{2}{r}}\right]\right\}}, \tag{39}$$

bzw.

$$\chi_{\alpha_\delta} = \frac{(1-\alpha)^{-r}}{(1+r)\left\{1{,}5\,\alpha + (1-\alpha)\left(1 - \delta^{\frac{2}{r}}\right)\right\}} \tag{40}$$

gegeben ist. Die χ_{α_δ}-Werte sind ihrerseits, wie ersichtlich, kleiner als die entsprechenden φ_{α_δ}-Werte.

In Fig. 13 sind die χ_{α_δ}-Kurven für $\delta = \frac{1}{2}$ in Verbindung mit $\alpha = 0$ (ϑ_{0_δ}-Kurve), $= \frac{1}{20}$ und $= \frac{1}{10}$ eingezeichnet. —[1]

* * *

Interessant ist es jetzt zu sehen, wie sich die Kurven in Fig. 11, 12 und 13 zueinander verhalten.

Wie ersichtlich, entspricht die Formel (38) hier der Pressler'schen Richthöhenmethode für Fälle, wo der Grunddurchmesser über dem Basaldurchmesser zu nehmen ist.

[1] Auch alle diese Kurven haben einen Minimumpunkt. Vgl. S. 27 Fussnote. In betreff des Wertes $r = 0$ erhalten nur die φ_{α_δ}-Kurven den für den Grenzfall Zylinder sachlichen Wert Eins. Vgl. Fig. 11—13.

Bekanntlich wendet PRESSLER auch hier den festen Koeffizienten $\chi_k = \frac{2}{3}$ an, und wie aus Figur 13 zu ersehen ist, ist dieser Koeffizient für diesen theoretischen Fall auch sehr passend. Die echte Kurve weicht in dem am nächsten in Frage kommenden r-Gebiet sehr wenig von der PRESSLER'schen Wagrechten auf der Höhe $\frac{2}{3}$, sowohl in betreff des Wertes $\alpha = \frac{1}{20}, = \frac{1}{10}$ als auch anderer ev. in Betracht kommender Werte ab.[1] In dieser Hinsicht dürfte die Lösung PRESSLER's als eine sehr gute theoretische Lösung anzusehen sein.

Zu einer einigermassen anderen Auffassung gelangt man jedoch über diese Lösung, wenn man die F o r m dieser PRESSLER'schen Formel

$$V = \frac{2}{3} G\left(L + \frac{a}{2}\right) \qquad \text{(PRESSLER.)}$$

im übrigen beurteilt. Es ist nämlich dabei nicht zu leugnen, dass die Klammer $\left(L + \frac{a}{2}\right)$ für die Berechnung des Volumens nicht bequem ist, ausserdem, dass die ursprünglich schöne Form der Ausgangsformel $V = \frac{2}{3} Gh$ verloren gegangen ist.

In diesem Sinne kann es angebracht sein, die zwei hier entwickelten vorhergehenden Volumformeln (30) und (35) ein wenig näher ins Auge zu fassen. Diese beiden Formeln besitzen nämlich fortwährend die ursprüngliche e i n f a c h e Form der PRESSLER'schen Richtpunktsregel. In der ersterwähnten ist der Höhenfaktor durch die Richtpunktshöhe h und in der zweiten durch die Richthöhe L repräsentiert. Vgl. Fig. 3.

Die in der ersteren Formel vorkommende Verhältniszahl ξ hat für verschiedene α-Werte verhältnismässig stark voneinander abweichende Kurven, wie auch aus Figur 11 zu ersehen ist. Dieser Fall kann somit, wenn ein fester ξ_k-Wert für die Praxis zu benutzen ist, nur einem ganz engen Höhenverhältnisgebiet α akkommodiert werden.

Die vielleicht vorteilhafteste relative Höhe, in bezug auf welche dieser Fall anzuwenden wäre, dürfte die $\frac{1}{20}$-Höhe sein. Hier liegt die

---

[1] Z. B. noch für $\alpha = \frac{1}{5}$ ist der Wert von χ_{α_δ} nur 0.634 in betreff $r = 1$. Die Steigerung der χ_{α_δ}-Werte ist somit recht langsam.

Vgl. übrigens PRESSLER's Herleitung seiner Formel.

$\xi_{\alpha\delta}$-Kurve in dem am nächsten in Frage kommenden r-Gebiet ziemlich flach und, wie ersichtlich, bei der ungefähren Wertgrösse $\frac{3}{4}$. Entsprechend würde also eine Kubierungsformel von der Form

$$V = \frac{3}{4} Gh$$

aufzustellen sein.

Der obenerwähnte zweite Fall dürfte jedoch vorteilhafter sein. Wie nämlich aus Fig. 12 zu ersehen ist, weichen die verschiedenen hier in Frage kommenden φ_{α_δ}-Kurven weniger voneinander ab, woraus folgt, dass ein fester φ_k-Wert entsprechend freier angewandt werden kann. Die speziell für $\alpha = \frac{1}{20}$ berechnete φ_{α_δ}-Kurve liegt auch flacher als im vorhergehenden Fall. Die entsprechende Kubierungsformel wäre hier von der Form

$$V = 0.7\, GL.$$

Vgl. Fig. 12.[1] — Für andere Teilhöhenlagen können noch weitere derartige Formelanpassungen entwickelt werden. —

Das ausgedehntere Richthöhenverfahren kann somit auch mit einer gewissen formalen Erleichterung im Vergleich zu der Pressler'schen Originalentwicklung dieses Verfahrens, durchgeführt werden.

Wie sich die verschiedenen Formeln weiter zu echtem Stammmaterial, besonders in betreff der Anschwellung des unteren Stammendes verhalten, ist eine neue Seite der Frage.

Zwecks Klarlegung dieser Fragestellung ist das hier herangezogene Stammaterial in ähnlicher Weise wie in Kap. I behandelt worden. Der Grunddurchmesser ist dabei, ausser in der angeführten Zwanzigstelhöhe, versuchsweise auch in die bequeme Brusthöhe verlegt worden.

Für die drei in Frage kommenden festen Koeffizientenpaare ξ_k — — ξ_c, φ_k — — φ_c, χ_k — — χ_c haben sich folgende arithmetische Mittel- sowie Variationskoeffizientenwerte nebst prozentischen mittleren Fehlern (vgl. entsprechend die Fussnoten der Seiten 17 (2) und 20 (3) sowie die Kubierungstabelle am Schluss dieser Studie) herausgestellt:

[1] Da die Teilhöhe, in welcher der Grunddurchmesser zu ermitteln ist, nicht absolut exakt bestimmt zu werden braucht, genügt es somit im allgemeinen, die Ganzhöhe und die betreffende Teilhöhe nur okulariter zu schätzen.

Zwanzigstelhöhe:	Brusthöhe:
$\xi_k = 0.679$; $\varphi_k = 0.631$; $\chi_k = 0.608$.	$\xi_k = 0.764$; $\varphi_k = 0.683$; $\chi_k = 0.648$.
$\xi_c = 0.534$; $\varphi_c = 0.496$; $\chi_c = 0.478$.	$\xi_c = 0.600$; $\varphi_c = 0.536$; $\chi_c = 0.509$.
$v = 2.9\,\%$; $v = 2.9\,\%$; $v = 2.9\,\%$.	$v = 6.3\,\%$; $v = 4.0\,\%$; $v = 3.1\,\%$.

$\varepsilon(m)$ zwischen 0.6 und 1.3 %; $\varepsilon(v)$ zwischen 0.4 und 0.9 %.

Vergleicht man erstens die erhaltenen Variationskoeffizientenwerte unter sich, so wird einerseits ersichtlich, dass die Zwanzigstelhöhe für den Grunddurchmesser in betreff der drei angeführten Formeln ein gleiches Sicherheitsmass verleiht. Benutzt man also für den Grunddurchmesser eine feste Teilhöhenlage, so ist es, im Hinblick auf möglichst grosse Bequemlichkeit, vorteilhafter, sich einer Formel der hier entwickelten einfacheren Formeltypen zu bedienen als einer des PRESSLER'schen Originalformeltyps. Andrerseits bestätigt sich für den Grunddurchmesser in absoluter (Brust)höhe, die oben in der theoretischen Vorprüfung gemachte Beobachtung, dass der PRESSLER'sche Originalfall zu den sichersten und die zuerst angeführte neue Formelentwicklung zu den ungüngstigsten (sogar recht ungüngstigen) Resultaten führt.

Vergleicht man zweitens die hier erhaltenen Variationskoeffizientenwerte mit den in Kap. I gefundenen entsprechenden Werten, so stellt sich heraus, dass die Richthöhenmethode nicht — auch nicht für feste Teilhöhenlagen angepasst — zuverlässigere Resultate gibt als die besten eindurchmessrigen Formeln. Dies dürfte seinen Grund hauptsächlich in dem unregelmässigen unteren Stammende haben. Dagegen zeigt der Brusthöhendurchmesser hier natürlicherweise (da ja das Richthöhenverfahren sich tatsächlich auf zwei Durchmesser stützt), eine teilweise recht viel grössere Stabilität der Resultate als derselbe Durchmesser bei der SMALIAN'schen Formel.

Sucht man ferner die den verschiedenen mittleren Koeffizientenverten am nächsten liegenden einfachen Ersatzwerte auf, so erhält man hier folgende Koeffizienten nebst prozentischen Abweichungen von den erhaltenen Mittelwerten:

Zwanzigstelhöhe:			Brusthöhe:		
$\xi_k = \frac{2}{3}$;	$\varphi_c = \frac{1}{2}$;	$\chi_k =$ 0.6.	$\xi_c =$ 0.6;	$\varphi_k = \frac{2}{3}$ bzw. = 0.7;	$\chi_c = \frac{1}{2}$.
Abw. % = − 1.8;	= + 0.9;	= − 1.3.	= 0.0;	= − 2.4 » = + 2.5;	= − 1.8.

Die für den theoretischen Rotationskörper hergeleiteten Koeffizienten in bezug auf die Zwanzigstelhöhe stimmen also nicht, wie auch

von vornherein angenommen werden konnte, mit den auf Grund des natürlichen Stammaterials erhaltenen Zahlenwerten überein. Dies rührt natürlich in erster Reihe von der Anschwellung des unteren Stammendes her. Die natürlichen Zahlenwerte sind selbstverständlich für die Praxis (hier also für den berindeten Kiefernnutzstamm) anzuwenden.

Vergleicht man ferner die für die Zwanzigstelhöhe erhaltenen echten und die für die Brusthöhe erhaltenen unechten Koeffizienten miteinander, so stellt sich heraus, dass jene niedriger als diese sind (der Pressler'sche Originalfall weist übrigens, mit der theoretischen Vorprüfung übereinstimmend, die kleinsten Unterschiede auf). Dies beruht natürlich darauf, dass die Zwanzigstelhöhe für das vorliegende Material unter der Brusthöhe liegt. Für längere Stämme als 26 m würde der entgegengesetzte Fall eingetroffen sein.

Auch andere Momente als die Stammlänge wirken auf die Grösse der Brusthöhenkoeffizienten ein. So z. B. kann man durch Einzeluntersuchung der erhaltenen Grundformzahlen eine gewisse Einwirkung des Standorts (also ausserhalb der der betreffenden Stammlängenveränderung) verspüren. — Eine genauere Analyse über die jeweilige Einwirkungsgrösse der verschiedenen Faktoren kann hier jedoch, wegen der Kleinheit des benutzten Stammaterials, nicht vorgenommen werden. Jedenfalls muss hervorgehoben werden, dass die Brusthöhenkoeffizienten also von Fall zu Fall wechseln, infolgedessen z. B. die hier erhaltenen mittleren Koeffizientenwerte nur als zufällige mittlere Formelkoeffizienten betrachtet werden dürfen, die neben besonders berechneten Spezialkoeffizienten für einheitliche Stammgruppen kaum allgemeiner in Frage kommen können.

Auch für die Zwanzigstelhöhe scheinen geringere systematische Gruppenunterschiede zum Vorschein gekommen zu sein. Für diesen Fall braucht man jedoch wohl, wie schon die verhältnismässig niedrigen Variationskoeffizientenwerte zeigen (2.9 %), derartige recht kleine Verschiebungen in den Zahlenwerten kaum in Betracht zu ziehen. Es dürften sich somit für diese Teilhöhenlage gut allgemeine mittlere Stammkubierungsformeln aufstellen lassen. Für den berindeten Kiefernnutzstamm würden diese Formeln also folgendermassen lauten:

$$V = \frac{2}{3} G h$$

$$V = \frac{1}{2} D^2 L$$

$$V = 0.6\, G \left(L + \frac{a}{2} \right).$$

Die angenähmste Formel dürfte die zweiterwähnte sein.

In der Kubierungstabelle am Schluss dieser Studie ist die Arbeit der angeführten drei Formeln mittels des herangezogenen Probematerials durch prozentische Resultatabweichungen von den Grundvolumina näher veranschaulicht worden.

* * *

Wie in dem vorhergehenden Kapitel die Abhängigkeit der absoluten Grundformzahl F_0 von dem Verhältnis $\frac{h}{H}$ bei feststehendem $\frac{d}{D}$-Wert untersucht wurde, kann es hier angebracht sein, die entsprechende theoretische Abhängigkeit der normalen Grundformzahl F_α von dem Verhältnis $\frac{h}{H-a}$ bei feststehendem $\frac{d}{D}$-Wert zu betrachten.

Diese Untersuchung kann folgendermassen gemacht werden.

Erstens ist die Gleichung (28) mit der Substitution $\frac{d}{D} = \delta$ für r zu lösen. Es wird erhalten

$$r = \frac{2 \log \delta}{\log\left(1 - \frac{h}{H-a}\right)}. \tag{41}$$

Bei Substitution dieses Werts in die Formel (7) wird die gesuchte Abhängigkeitsgleichung erhalten. Sie lautet

$$F_{\alpha_\delta} = \frac{1}{1 + \frac{2 \log \delta}{\log\left(1 - \frac{h}{H-a}\right)}} (1-\alpha)^{-\frac{2 \log \delta}{\log\left(1 - \frac{h}{H-a}\right)}}. \tag{42}$$

Diese Formzahl ist in Fig. 14 graphisch durch ein Beispiel $\alpha = \frac{1}{20}$ in Verbindung mit $\delta = \frac{1}{2}$ veranschaulicht. Das Beispiel ist dasselbe, dessen Zahlenwerte (für $\frac{h}{H-a}$ zwischen 0.50 und 0.82) JUDEICH und PRESSLER seinerzeit veröffentlicht haben.[1]

Die F_{α_δ}-Kurven sind in gewisser Hinsicht spezialisierte Arten

[1] FR. JUDEICH 1861, l. c. (S. 119.)
M. R. PRESSLER 1865, l. c. (S. 140.)

der F_α-Kurven in Fig. 7, diesen natürlicherweise auch in den allgemeinen Eigenschaften entsprechend. So nähern sich die verschiedenen F_{α_δ}-Kurven dem Wert Eins, wenn $\frac{h}{H-a}$ sich demselben Wert nähert, — wie vorher die F_α-Kurven, wenn r sich dem Wert Null näherte. Andrerseits steigen die beiden Arten von Kurven in unendliche Höhe, wenn $\frac{h}{H-a}$ gleich Null, bzw. r gleich ∞ werden. Eine Asymptote der F_{α_δ}-Kurven steht also lotrecht für den Abszissenwert $\frac{h}{H-a}$ = Null. Bei α = Null treffen die Kurven, die jetzt also absolut genannt werden (= F_{0_δ}; vgl. Fig. 10), für $\frac{h}{H-a} = \left(\text{d. h. } \frac{h}{H} =\right)$ Null den Nullpunkt.

Für die Minima der F_{α_δ}-Kurven erhält man weiter folgende Koordinaten:

$$\left(\frac{h}{H-a}\right)_{\alpha_{\delta_{mp}}} = 1-\delta^{-\frac{2\log(1-\alpha)}{1+\log(1-\alpha)}} \tag{43}$$

und

$$F_{\alpha_{\delta_{mp}}} = -\log(1-\alpha)\cdot(1-\alpha)^{\left(1+\frac{1}{\log(1-\alpha)}\right)}. \tag{44}$$

Da die Formel (44) mit der Formel (11) identisch ist, liegen die Minima der F_{α_δ}-Kurven in gleicher Höhe wie die Minima der entsprechenden (gleiche α-Werte) F_α-Kurven.[1]

---

[1] Weil in der Formel (44) der Faktor δ fehlt, liegen ferner alle F_{α_δ}-Minima für gleiches α, aber abwechselndes δ auf ein und derselben w a g r e c h t e n G e r a d e n. Für je einen α-Wert gibt es also eine M i n i m u m g e r a d e mit der Formel

$$F_{\alpha_{\delta_{mg}}} = -\log(1-\alpha)\cdot(1-\alpha)^{\left(1+\frac{1}{\log(1-\alpha)}\right)}.$$

Umgekehrt verschmelzen die Minimumpunkte der für festen δ-, aber in bekannten Grenzen kontinuierlich verlaufenden α-Wert zusammengestellten F_{α_δ}-Kurvenserien zu M i n i m u m k u r v e n. Die allgemeine Formel aller dieser Kurven ist

$$F_{\alpha_{\delta_m}} = \frac{1}{1+\frac{2\log\delta}{\log\left(1-\frac{h}{H-a}\right)}}\,\delta^{\frac{2}{2\log\delta+\log\left(1-\frac{h}{H-a}\right)}}.$$

(Forts.)

IV

Diejenigen Stammkubierungsformeln, die sich auf zwei oder mehrere, in festen Teilhöhenlagen befindliche Durchmesser nebst der Ganzhöhe des Stammes basieren, können schliesslich auch im Anschluss an den in den vorhergehenden Kapiteln angewandten allgemeinen Formeltyp (5) etc. ausgedrückt werden, — doch mit dem Unterschied, dass der Formelkoeffizient nicht mehr konstant bleibt, sondern hier variabel ist.

Ein Teil der Minimumkurven ist ferner durch einen Inflexionspunkt

$$\left(\frac{h}{H-a}\right)_{\alpha_{\delta_{m_{ip}}}} = 1 - e^{-\left[\frac{3}{2}+\left(\frac{9}{4}-2\log\delta\right)^{\frac{1}{2}}\right]}\delta^{-2},$$

$$F_{\alpha_{\delta_{m_{ip}}}} = \left[1+\frac{2\log\delta}{\frac{3}{2}+\left(\frac{9}{4}-2\log\delta\right)^{\frac{1}{2}}}\right]\delta^{\frac{2}{\frac{3}{2}+\left(\frac{9}{4}-2\log\delta\right)^{\frac{1}{2}}}}$$

charakterisiert, und vereinigt man noch diese Punkte, so erhält man endlich die Inflexionskurve der Minimumkurven der fraglichen Formzahlenkurven. Die Formel dieser Kurve lautet

$$F_{\alpha_{\delta_{m_i}}} = -\frac{e\log\left(1-\frac{h}{H-a}\right)}{2+\left[4+\log\left(1-\frac{h}{H-a}\right)\right]^{\frac{1}{2}}}\left(1-\frac{h}{H-a}\right)^{\frac{1}{2+\left[4+\log\left(1-\frac{h}{H-a}\right)\right]^{\frac{1}{2}}}}.$$

Weil grössere Werte für δ als Eins (Zylinderwert) hier nicht in Frage kommen können, ist $1-e^{-3}$ der obere Grenzwert für $\frac{h}{H-a}$, den die Inflexionskurve hier erreicht; der entsprechende Ordinatenwert ist daselbst Eins. Weil andrerseits $\frac{h}{H-a}$ hier nicht unter Null sinken kann, bildet die $F_{\alpha_{\delta_m}}$-Kurve für $\delta = e^{-2}$ die untere Grenzkurve, die theoretisch einen Wendepunkt hat; dieser letzte Wendepunkt fällt mit dem Nullpunkt zusammen. (Vgl. S. 29 nebst Fussnote 2.) — Es sei noch erwähnt, dass auch die Inflexionskurve selber einen Inflexionspunkt besitzt.

Fig. 14 veranschaulicht die hier erörterten Verhältnisse für das folgende oben besprochene Beispiel: echte Formzahlenkurve F_{α_δ} für $\alpha = \frac{1}{20}$ in Verbindung mit $\delta = \frac{1}{2}$; Minimumgerade $F_{\alpha_{\delta_{img}}}$ für $\alpha = \frac{1}{20}$; Minimumkurve $F_{\alpha_{\delta_m}}$ für $\delta = \frac{1}{2}$; die Minimumkurven charakterisierende Inflexionskurve $F_{\alpha_{\delta_{m_i}}}$.

Die fragliche Formel lautet

(45) $$V = \psi G H,$$

wo ψ die in Rede stehende variable Grösse bezeichnet. Die Formulierung dieser Grösse geschieht folgendermassen.

Werden die verschiedenen Kreisflächen einer mehrdurchmessrigen Kubierungsformel mit G_1, G_2, ... und die den Kreisflächen gegebenen verschiedenen Koeffizienten mit a, b, ... bezeichnet, so kann die in Rede stehende Stammkubierungsformel allgemein folgendermassen geschrieben werden (vgl. Fig. 4):

(46) $$V = (aG_1 + bG_2 + \cdots) H.$$

Wird weiter das rechte Glied dieser Gleichung mit einer in beliebiger Teilhöhenlage α befindlichen, zur Grundkreisfläche gewählten Kreisfläche G' erweitert, so geht die Gleichung in die Form

(47) $$V = \left(a\frac{G_1}{G'} + b\frac{G_2}{G'} + \cdots\right) G' H$$

über. Der Formel (45) gemäss wird hiernach der Faktor ψ durch die Gleichung

(48) $$\psi_\alpha = a\frac{G_1}{G'} + b\frac{G_2}{G'} + \cdots$$

gegeben. In welchen Hinsichten der Faktor ψ variabel ist, stellt sich ohne weiteres heraus.

Die theoretische Untersuchung der relativen Genauigkeit der üblichen mehrdurchmessrigen Stammkubierungsformeln geschieht diesmal durch Vergleichung der jeweils in Betracht kommenden ψ_α-Werte mit den entsprechenden normalen Formzahlenwerten der Formel (7).

Vom prinzipiellen Standpunkt aus ist es gleichgültig, auf welche normale Formzahl, d. h. auf welche Grundkreisfläche G' in jeweils bestimmter Teilhöhenlage, diese Vergleichung gegründet wird. Weil, wie erwähnt, die ψ_α-Werte in bezug auf keinen in echter Teilhöhe gewählten G'-Wert konstant bleiben können, scheint es hier am einfachsten zu sein, eine gemeinsame G'-Basis für alle Fälle zu wählen.[1]

[1] Es sei erwähnt, dass auch der Koeffizient in Formel (8), der sich auf eindurchmessrige Kubierungsformeln bezieht, seinerseits nur für den G_α-Wert konstant ist, der in derselben Teilhöhenlage gewählt wird, auf welche sich die jeweilige Kubierungsformel bezieht, — für andere G'-Werte aber variabel ist. Vgl. Fig. 18 (die oberen Kurvenpaare).

Die auf diese Weise gewonnene normale Formzahl, die am vorteilhaftesten zu sein scheint, ist natürlich die absolute Formzahl F_0, welche also die Basalkreisfläche zu ihrer Basis hat. Die Formel dieser Formzahl ist schon oben auf S. 11 angeführt (die Formel (9)). Die entsprechende Kurve ist auch sowohl in Fig. 7 wie in Fig. 8 graphisch dargestellt (die unterste Kurve). —

Die verschiedenen gegebenen Stammkubierungsformeln werden hiernach mit der Basalkreisfläche G' erweitert, einerlei ob sie sich selber u. a. auf diese Kreisfläche gründen oder nicht. Die Zahlenwerte der bezüglichen ψ_0-Faktoren werden weiter für variierenden Formexponenten r berechnet und mit den entsprechenden F_0-Werten verglichen.

Die ψ_0-Ausdrücke für die verschiedenen fraglichen Kubierungsformeln sind zuerst anzugeben.

Löst man demgemäss Formel (20) in betreff des Verhältnisses $\frac{d}{D}$, und drückt man dabei h in Teilen von H aus, somit $\frac{h}{H} = \beta$ (vgl. oben $\frac{a}{H} = \alpha$), so erhält man erstens [1]

$$\left(\frac{d}{D}\right)_\beta = (1-\beta)^{\frac{r}{2}}, \tag{49}$$

woraus durch Quadrierung und Substitution $\left(\frac{d}{D}\right)_\beta^2 = \left(\frac{g}{G}\right)_\beta$ weiter

$$\left(\frac{g}{G}\right)_\beta = (1-\beta)^r. \tag{50}$$

Die Variation dieser zwei Verhältniszahlen in bezug auf r ist in Fig. 15 und 16 beispielsweise für die »drei Stammitten»: die Hauptmitte $\beta = \frac{1}{2}$, die Untermitte $\beta = \frac{1}{4}$ und die Obermitte $\beta = \frac{3}{4}$ graphisch dargestellt. [2]

Wegen der näheren Untersuchung der beinahe unzähligen zur Anwendung vorgeschlagenen diesbezüglichen Stammkubierungsformeln dürfte es im vorliegenden Falle genügen, nur einige bekanntere Formeln zu prüfen.

Die Formeln werden hier sowohl nach der Anzahl der Durchmesser wie nach der Höhe ihrer untersten Durchmesser von der Basis geordnet.

[1] Das Verhältnis $\frac{d}{D}$ müsste hier eigentlich $\frac{D}{D'}$ geschrieben werden. Um jedoch eine allgemeine Kontinuität mit den früheren entsprechenden Formeln zu erhalten, ist die Bezeichnung $\frac{d}{D}$ hier weiter beibehalten worden.

[2] Vgl. M. R. PRESSLER 1865, l. c. (S. 93 ff.)

Wie oben, werden nur Formeln für Vollkörper beachtet. Die für die Formeln erhaltenen ψ_0-Werte werden neben die Formeln geschrieben. Beispielsweise werden folgende 10 Formeln (vier für zweidurchmessrige, ebenso vier für dreidurchmessrige und eine sowohl für vier- wie für fünfdurchmessrige Formeln) behandelt: [1] [2]

---

[1] Die NEWTON'sche Volumformel wurde zuerst von THEN 1830, Ueber die Bestimmung der runden Hölzer, Allg. Forst- u. Jagd-Zeit., für Baumstammkubierungen vorgeschlagen. Später hat sie Fr. J. P. VON RIECKE 1849, Ueber die Berechnung des körperlichen Inhaltes unbeschlagener Baumstämme, für dieselben Zwecke in Vorschlag gebracht. — Nach U. MÜLLER 1923, l. c. (S. 32.)

GAUSS, Methodus nova integralium valores per approximationem inveniendi. — O. SIMONY 1881, Ueber das Problem der Stammcubirung als Grundlage der Berechnung von Formzahlentabellen und Massentafeln. Mitth. a. d. forstl. Versuchswes. Österr., Bd. II. Statt der berechneten Teilhöhenlagen 0.2113 und 0.7887 sind die bequemeren $\frac{1}{5}$ und $\frac{4}{5}$ allgemein in Anwendung genommen. — In diesem Zusammenhang sei auch die von POUKKA vorgeschlagene »Näherungsformel» $V = \frac{H}{2}\left(G_{\frac{1}{14}} + G_{\frac{11}{14}}\right)$ erwähnt, die also weiter in die GAUSS'sche Näherungsformel einverleibt werden kann. K. A. POUKKA 1912, Täsmällisiä ja likiarvoisia kuutioimiskaavoja. (Mit deutschem Referat: Exakte und approximative Kubierungsformeln.) Suom. Metsänhoitoyhd. Julk. — Finska Forstför. Medd.

G. OETZEL 1892, Neue Formeln zur Berechnung des Rauminhalts voller und abgestutzter Baumschäfte. Wien und Leipzig.

A. SCHIFFEL 1902, Die Cubirung von Rundholz aus zwei Durchmessern und der Länge. Mitth. a. d. forstl. Versuchswes. Österr., H. XXVII. — Vgl. auch N. VON LORENZ 1902, Analytische Untersuchung der SCHIFFEL'schen Cubirungsformel. Cbl. f. d. ges. Forstwes. — In der Formel ist $q = \sqrt{\frac{G_{\frac{3}{4}}}{G_{\frac{1}{4}}}} = \frac{D_{\frac{3}{4}}}{D_{\frac{1}{4}}}$.

K. BREYMANN 1865. Oesterr. Vierteljahresschr. f. Forstwes. (S. 714.) — Nach U. MÜLLER 1923, l. c. (S. 35.)

O. SIMONY 1881, l. c. — Ders. 1901, Die näherungsweise Flächen- und Körperberechnung in der wissenschaftlichen Holzmesskunde. Mitth. a. d. forstl. Versuchswes. Österr., H. XXVI. — Statt der berechneten zwei äussersten Teilhöhenlagen 0.1464 und 0.8536 sind die bequemeren $\frac{1}{7}$ und $\frac{6}{7}$ zur Anwendung vorgeschlagen.

A. SIVÉN 1887, Forstmatematiska bidrag. Finska Forstför. Medd.

O. SIMONY 1876. Cbl. f. d. ges. Forstwes. (S. 556.) — Nach U. MÜLLER 1923, l. c. (S. 33.)

O. SIMONY 1881, l. c. Statt der berechneten Teilhöhenlagen 0.027, 0.4062, 0.5938 und 0.9973 werden für die Praxis die bequemeren Verhältniszahlen 0.1, 0.4, 0.6 und 0.9 vorgeschlagen.

Die letzte Formel ist die fünf gleichlangen Sektionen angepasste HUBER'sche; sie

(Forts.)

NEWTON—THEN—v. RIECKE:

$$V = \frac{H}{6}\left(G_0 + 4G_{\frac{1}{2}}\right) \quad \psi_0 = \frac{1}{6}\left(1 + 2^{2-r}\right)$$

GAUSS—SIMONY:

$$V = \frac{H}{2}\left(G_{\frac{1}{5}} + G_{\frac{4}{5}}\right) \quad \psi_0 = \frac{5-r}{2}\left(4^r + 1\right)$$

OETZEL:

$$V = \frac{H}{9}\left(5\,G_{\frac{1}{4}} + 3\,G_{\frac{3}{4}}\right) \quad \psi_0 = \frac{4-r}{3}\left(5 \cdot 3^{r-1} + 1\right)$$

SCHIFFEL:

$$V = H\,(0.61 + 0.62\,q^2 - 0.23\,q)\,G_{\frac{1}{4}} \quad \psi_0 = 4^{-r}\left(0.61 \cdot 3^r + 0.62 - 0.23 \cdot 3^{\frac{r}{2}}\right).$$

BREYMANN:

$$V = \frac{H}{8}\left[G_0 + 3\left(G_{\frac{1}{3}} + G_{\frac{2}{3}}\right)\right] \quad \psi_0 = \frac{1}{8}\left[1 + 3^{1-r}\left(2^r + 1\right)\right]$$

SIMONY:

$$V = \frac{H}{3}\left(G_{\frac{1}{7}} + G_{\frac{1}{2}} + G_{\frac{6}{7}}\right) \quad \psi_0 = \frac{1}{3}\left[2^{-r} + 7^{-r}\left(6^r + 1\right)\right]$$

SIVÉN:

$$V = \frac{H}{8}\left[3\left(G_{\frac{1}{6}} + G_{\frac{5}{6}}\right) + 2\,G_{\frac{1}{2}}\right] \quad \psi_0 = \frac{2-r}{8}\left[3^{1-r}\left(5^r + 1\right) + 2\right]$$

SIMONY:

$$V = \frac{H}{3}\left[2\left(G_{\frac{1}{4}} + G_{\frac{3}{4}}\right) - G_{\frac{1}{2}}\right] \quad \psi_0 = \frac{2-r}{3}\left[2^{1-r}\left(3^r + 1\right) - 1\right].$$

SIMONY:

$$V = \frac{H}{4}\left(G_{\frac{1}{10}} + G_{\frac{3}{10}} + G_{\frac{6}{10}} + G_{\frac{9}{10}}\right) \quad \psi_0 = \frac{10-r}{4}\left(9^r + 6^r + 4^r + 1\right).$$

HUBER (5-Sekt.); SIMONY:

$$V = \frac{H}{5}\left(G_{\frac{1}{10}} + G_{\frac{3}{10}} + G_{\frac{5}{10}} + G_{\frac{7}{10}} + G_{\frac{9}{10}}\right) \quad \psi_0 = \frac{10-r}{5}\left(9^r + 7^r + 5^r + 3^r + 1\right).$$

---

kann aber auch als eine Näherungsformel der SIMONY'schen Formel $V = \frac{H}{5}\left(G_{0.0639} + G_{0.3127} + G_{0.5} + G_{0.6873} + G_{0.9162}\right)$ angesehen werden. — O. SIMONY 1881, l. c.

[2] Vgl. auch T. HEIKKILÄ 1915, Huber'in kaavan käyttökelpoisuudesta ja eräistä uusista kuutioimistavoista. Metsätal. Aikakk. (L. pain.) — Forstl. Tidskr. (H.-uppl.)

Diese ψ_0-Werte sind mit den entsprechenden F_0-Werten in Fig. 17 verglichen worden. Die geringeren Verschiedenheiten dieser Werte sind in dem Massstab der Figur nicht ersichtlich. — Es sei noch an die für die abgestumpften Konoide aufgestellten Formeln NEWTON's, OETZEL's und BREYMANN's, die also für den Zylinder exakt sind, erinnert.

Dass die theoretisch betrachtet sehr gute Übereinstimmung der ψ_0-Werte der angeführten Formeln mit den F_0-Werten an sich noch keine ebenso gute Formelanpassung für echtes Stammaterial garantiert, ist ohne weiteres klar.

Wie sich dieses Verhalten beispielsweise in betreff des hier benutzten Materials ausbildet, bzw. wie die verschiedenen Formeln eventuell zu verfeinern wären (vgl. die vorhergehenden Kapitel), ist hier, wegen des (im Vergleich zu der allgemein angewandten bequemen äquidistanten sektionsweisen Mittenflächenkubierung)[1] hauptsächlich akademischen Charakters dieser (d. h. der neun ersten) Formeln, nicht näher untersucht worden. Wie sich ferner die sektionsweise Mittenflächenkubierung zu der vorliegenden Frage verhält, dies von neuem zu untersuchen, ist hier nicht als besonders nötig erachtet worden.

* * *

Die bis jetzt aufgestellten, auf zwei oder mehrere teilfeste Stammdurchmesser bezüglichen Stammkubierungsformeln sind eigentlich nur für gefällte Stämme geplant und konstruiert worden. Es könnte aber bisweilen nützlich sein, derartige Formeln auch für wachsende Bäume zu haben, wenn nämlich durch sie bessere bzw. sichrere Ergebnisse als durch eindurchmessrige Formeln zu erhalten wären. Besonders dürften die auf zwei Durchmesser sich stützenden Formeln auch als recht bequem angesehen werden, wenn sie nämlich erstens die Hauptanforderung einer Formel für wachsende Bäume erfüllten, dass die Durchmesser wenigstens unter der halben, aber lieber nicht höher als in Drei-Zehntel- oder sogar als in Viertelhöhe (in Anbetracht der grösseren Stammhöhen und der direkten Durchmesserermittlung ohne Leiter) des Stammes liegen, — und zweitens, dass sie eine einfache Form besitzen und sich auf rechnerisch einfache Durchmesserhöhenlagen beziehen.

[1] Die letzte der angegebenen zehn Formeln ist ein Vertreter dieses Kubierungsverfahrens. Das »Grundvolumen» des hier benutzten Stammaterials ist desgleichen, wie erwähnt, durch dieses Verfahren (Einmetersektionen) zustandegekommen.

Es stösst ja natürlich auf keine Schwierigkeit, derartige Formeln z. B. gerade mit zwei Durchmessern zu konstruieren. Z. B. aus den in dem ersten Kapitel dieser Studie angeführten Formeln mit dem Durchmesser unter der halben Stammhöhe kann eine Mehrzahl von recht einfachen Formeln kombiniert werden. Eine andere Frage ist die, dass die oben zuerst angeführte Bedingung kaum erlaubt, theoretisch vollendete Formeln aufzustellen. Diese Forderung ist jedoch nicht die primärste; es gilt ja jetzt, in der Gegebenheit nach Möglichkeit nur gute Formeln für die Praxis zu entwickeln.

In der Aufstellung derartiger Formeln ist zu beachten, dass man, um eine gute Kombination zu erhalten, diejenigen eindurchmessrigen Formeln, die einander in betreff des Vorzeichens der in der Frage etwa wichtigsten Abweichungen der F_k-Werte von den entsprechenden F_α-Werten hauptsächlich entgegengesetzt sind, durch additive und die unter sich gleichartigen Formeln durch subtraktive Abwägung kombiniert. So dürften z. B. die Teilhöhenkombinationen $0 - - 0.4$, $0 - - \frac{1}{3}$, $0.2 - - 0.4$, $\frac{1}{6} - - \frac{1}{3}$, ... zu der erstgenannten und z. B. die Kombinationen $0 - - \frac{1}{4}$, $0 - - \frac{1}{5}$, $\frac{1}{10} - - \frac{1}{4}$, $\frac{1}{3} - - 0.4$, ... zu der zweiten Kombinationskategorie gehören. Vgl. Fig. 7 sowie Fig. 18 (die oberen Kurvenpaare). Die Wägung kann natürlich frei in betreff der Durchmesserkreis- oder -quadratflächen (vgl. S. 17) sowie durch verschiedenartige Mittelwertberechnungen ausgeführt werden.[1] Es heisst nur die je möglichst einfachen und bequemen guten Formeln finden.[2]

Die Grössen der jeweils anzuwendenden Grundformelkoeffizienten sind schon in dem ersten Kapitel dieser Studie im grossen und ganzen gegeben worden; nur kleinere, von einer einfachen Formelform bedingte Abschleifungen können hier noch in Frage kommen.

Jetzt gilt es also hauptsächlich, nur die relative Fallstärke der neuen Kurven durch verschieden gestellte Wägung der jeweils benutzten Paarformeln zu bestimmen. In dieser Hinsicht soll die Hauptregel befolgt werden, dass diejenige von den zwei in Frage kommenden Grundformeln, welche die kleineren hier etwa bedeutungsvollen Differenzen $F_\alpha - F_k$

[1] Es sei z. B. an die oben angeführte NEWTON'sche Formel erinnert, die eine zu der ersten Kategorie gehörende, aus einer SMALIAN'schen und zwei HUBER'schen Formeln arithmetisch abgewogene Formel ist.

[2] Die arithmetische Abwägung gibt wohl im allgemeinen die einfachsten Formeln.

bzw. $F_0 - \psi_0$ besitzt, stärker betont werden müsste. In den subtraktiven Formeln wird also diese selbe Formel der Minuend sein. — Sonst muss die endgültige Wägung durch Ausprobierung durchgeführt werden.

Von den sehr vielen zweidurchmessrigen Formeln allerlei Kombinationen, die auf diese Weise aufgestellt werden können, mögen nur ein paar der beiden Kategorien hier erwähnt und veranschaulicht werden, z. B. die folgenden Kreisflächen-, Quadratflächen- sowie gemischten Kubierungsformeln:

Additive zweidurchmessrige Kubierungsformeln:

$$V = \frac{H}{3}\left(D_{0.4}^2 + G_{0.2}\right) \quad \psi_0 = \frac{4 \cdot 5^{-r}}{3}\left(\frac{3^r}{\pi} + 4^{r-1}\right)$$

$$V = \frac{H}{2}\left(D_{\frac{1}{3}}^2 + 0.2\, D_{\frac{1}{8}}^2\right) \quad \psi_0 = \frac{2}{\pi} 6^{-r}\left(4^r + 0.2 \cdot 5^r\right).$$

Subtraktive zweidurchmessrige Kubierungsformeln:

$$V = H\left(D_{\frac{1}{4}}^2 - \frac{1}{3} D_{\frac{1}{10}}^2\right) \quad \psi_0 = \frac{4}{\pi} 3^r\left(4^{-r} - 0.1 \cdot 0.3^{r-1}\right)$$

$$V = H\left(G_{\frac{1}{4}} - 0.2\, G_0\right) \quad \psi_0 = \left[\left(\frac{3}{4}\right)^r - 0.2\right].$$

Vgl. Fig. 18. (Daselbst sind auch einige ψ_0-Kurven der grundlegenden eindurchmessrigen Kubierungsformeln veranschaulicht.)

Um zu erfahren, wie derartige Formeln für echtes Stammaterial arbeiten, wurden beispielsweise die späteren Formeln der zwei Formelkategorien mittels des hier benutzten Stammaterials näher untersucht.

Die erhaltenen Mittelabweichungen und Dispersionswerte waren: für die erstere Formel $\left(\frac{1}{3} - - \frac{1}{6}\right)$: $+0.7$ und $2.5\ \%$ und für die letztere $\left(\frac{1}{4} - -\text{Brusthöhe}\right)$: $+0.3$ und $2.5\ \%$. Die Einzelresultate der letzteren Formel sind in der Kubierungstabelle am Schluss dieser Studie vermerkt; daraus sind auch die mittleren Fehler ersichtlich.

Die erhaltenen Dispersionswerte sind wohl numerisch etwas niedriger als die entsprechenden Werte der besten eindurchmessrigen Grundformeln, aber der Unterschied kann doch nicht als signifikant bezeichnet werden, da er gut innerhalb der Zufallsgrenzen fällt. Die in Frage gestellte höhere Stabilität der Kubierungsresultate ist hier also wenigstens nicht durch die niedrigen zweidurchmessrigen Formeln im Vergleich zu den entsprechenden besten eindurchmessrigen Formeln erreicht worden. In

dieser Hinsicht lohnt es sich also kaum, von einer guten eindurchmessrigen zu einer zweidurchmessrigen Formel überzugehen.[1]

Von einem anderen Gesichtspunkt aus beurteilt, scheint jedoch eine gut zusammengestellte zweidurchmessrige Formel im Vergleich zu den entsprechenden eindurchmessrigen Formeln einen gewissen Vorteil bieten zu können. Wenigstens für das jetzt untersuchte Material hat z. B. die in der Kubierungstabelle näher veranschaulichte Formel

$$V = H\left(G_{\frac{1}{4}} - 0.2\, G_{1.3}\right)$$

die etwaigen systematischen Abweichungen, die die eindurchmessrigen Formeln in betreff der Standorte bzw. der Stammgrössen gezeigt haben, recht gut ausgeglichen; die Fehler sind in jeder Stammreihe regellos abwechselnd positiv und negativ.

Würde eine ausgedehntere Untersuchung diese, übrigens recht plausibel erscheinende Wahrnehmung bestätigen können, so könnte den zweidurchmessrigen Formeln entsprechend ein gewisser Vorzug zugesprochen werden. In diesem Sinne würde auch der hier erhaltene, als sehr niedrig zu bezeichnende Dispersionswert symptomatisch als noch signifikanter betrachtet werden können.

Vergleicht man ferner die additiven und subtraktiven Formeln miteinander, so ist ohne weiteres klar, dass nur die niedrigen subtraktiven Formeln für wachsende Bäume (wie gesagt in Anbetracht der grösseren Stammhöhen und der direkten Durchmesserermittlung ohne Leiter) in Frage kommen können.

Eine besonders gute obere Durchmesserlage in betreff einer derartigen Formel scheint, wie schon in Kap. I hervorgehoben wurde, die »Untermitte», d. h. die Viertelhöhe zu sein. Eine entsprechend »echte» zweidurchmessrige Formel erhält man z. B. durch die Kombination $\frac{1}{4}-\!-\frac{1}{10}$, und eine »unechte» am besten durch die bekannte Zusammenstellung $\frac{1}{4}-\!-$ Brusthöhe (jedoch nur für grössere Stämme). Gerade diese zwei Fälle sind oben durch die zwei subtraktiven Formeln in Betracht gezogen worden.

[1] Andrerseits sei an das an sich recht kleine Dispersionsmass einiger eindurchmessrigen Formeln im Zusammenhang mit dem hier benutzten Stammaterial aufmerksam gemacht, welche enge Streuung als solche nicht sehr leicht wirklich entscheidend kleiner gemacht werden kann. Die Frage der Stabilität der zwei in Rede stehenden Formelarten im Verhältnis zueinander kann endgültiger nur durch weitläufigere Kontrollkubierungen entschieden werden.

Die genannte unechte Formel ist natürlich die bequemere der beiden Formeln. Schlecht hat sie trotz ihrer Unechtheit auch nicht gearbeitet, wie schon oben gezeigt wurde (vgl. die Kubierungstabelle); ausserdem ist sie sehr einfach. Sie gründet sich also auf die sog. unechte Untermittenformklasse (vgl. S. 42), die bisweilen als Hilfszeiger für die Hauptformklasse angewandt worden ist.

Es scheint nun, wenigstens auf Grund der jetzt gewonnenen Ergebnisse, als böte die Hauptformklasse in gewöhnlicher Anwendung nicht nur eine unbequemere, sondern auch wegen der Schwierigkeit, diese Formklassengrösse für stehende Stämme (von kleinerer abgesehen) ohne Leiter oder gute Dendrometer sicher zu bestimmen, eine unsichrere Basis für die Kubierung solcher Stämme als die als Hilfszeiger benutzte Untermittenformklasse an sich. — Weitere ausgedehntere Untersuchungen werden wohl diese Beziehungen näher klarlegen können.

* * *

Gilt es, die echten Formzahlenwerte in bezug auf variierende $\frac{d}{D}$- und feste $\frac{h}{H-a}$-Werte theoretisch anzugeben, so sind die Grundformeln auch hierfür oben gegeben worden.

Für die diesbezügliche absolute Formzahl $F_{0\beta}$ wird aus Formel (25) die Formel

$$F_{0\beta} = \frac{1}{1+\frac{2\log\frac{d}{D}}{\log(1-\beta)}} \tag{51}$$

erhalten, wenn statt fester δ- und variierender $\frac{h}{H}$-Werte variierende $\frac{d}{D}$- und feste β-Werte eingesetzt werden.

Für die Normalformzahl $F_{\alpha\beta}$ wird entsprechend aus der Formel (42), wenn das Verhältnis $\frac{h}{H-a}$ durch β und δ durch $\frac{d}{D}$ ersetzt wird, die Formel

$$F_{\alpha\beta} = \frac{1}{1+\frac{2\log\frac{d}{D}}{\log(1-\beta)}}(1-\alpha)^{-\frac{2\log\frac{d}{D}}{\log(1-\beta)}} \tag{52}$$

erhalten, wo also F echt sowohl in betreff der Höhe a wie der Höhe h

ist. Für $\alpha =$ Null geht diese Formel in die Formel (51), wie oben die Formel (42) in die Formel (25) über.

In Fig. 19 und 20 sind diese beiden Formzahlenarten durch einige Kurvenbeispiele veranschaulicht. Die erstere Figur stellt die absolute Formzahl für beispielsweise $\beta = \frac{1}{4}$, $= \frac{1}{2}$ und $= \frac{3}{4}$ dar, — die letztere die Normalformzahl für die Kombination $\alpha = \frac{1}{4}$ mit $\beta = \frac{2}{3}$, welche Kombination also die Variation der Formzahl $F_{\frac{1}{4}}$ in betreff des obenangeführten SCHIFFEL'schen Faktors $q = \frac{D_{\frac{3}{4}}}{D_{\frac{1}{4}}}$ veranschaulicht.

Über die Eigenschaften der Kurven (51) und (52) ist in der Hauptsache dasselbe zu sagen wie über die entsprechenden Kurven der Formeln (25) und (42) weiter oben. Es wird daher dorthin verwiesen. Doch seien hier die den Formeln (26), (27) und (43), (44) entsprechenden Formeln entwickelt und vermerkt.

Für die Koordinaten des Inflexionspunkts der Kurve (51) erhält man die Formeln

$$\left(\frac{d}{D}\right)_{0_{\beta_{ip}}} = e^{-2}(1-\beta)^{-\frac{1}{2}} \tag{53}$$

und

$$F_{0_{\beta_{ip}}} = -\frac{1}{4}\log(1-\beta). \tag{54}$$

Vgl. Fig. 19.[1]

Für die Koordinaten des Minimumpunkts der Kurve (52) erhält man andrerseits die Formeln

[1] Löst man weiter β aus der Gleichung (53) und substituiert diesen β-Wert in Formel (51), so erhält man die Formel der zu einer Inflexionskurve verschmolzener Inflexionspunkte

$$F_{0_{\beta_i}} = 1 + \frac{1}{2}\log\frac{d}{D}.$$

Weil $\frac{d}{D} = 1$ dem Zylinder entspricht, ist der grösste Wert, der für β gemäss Formel (53) hier in Frage kommen kann, $= 1 - e^{-4}$. Für die entsprechende Kurve liegt der Inflexionspunkt in dem »Zylinderpunkt». Ihren Treffpunkt mit der Abszissenachse ($F_{0_{\beta_i}} = 0$) hat die Inflexionskurve andrerseits, wie ersichtlich, in dem Punkt $\frac{d}{D} = e^{-2}$.

Wie sowohl aus den einander entsprechenden Formeln (25)—(27) — — (51), (53)—(54) als auch aus den Figuren 10 und 19 ersichtlich, sind die zwei analysierten F_0-Kurvenarten in gewisser Hinsicht von entgegengesetztem Charakter.

(55) $$\left(\frac{d}{D}\right)_{\alpha_{\beta_{mp}}} = (1-\beta)^{-\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{2\log(1-\alpha)}\right)}$$

und

(56) $$F_{\alpha_{\beta_{mp}}} = -\log(1-\alpha)\cdot(1-\alpha)^{\left(1+\frac{1}{\log(1-\alpha)}\right)}.$$

Vgl. Fig. 20.[1]

V

Der Vollständigkeit halber seien zuletzt noch gewisse gröbere Annäherungsformeln für das Stammkubieren, in welchen, wenigstens formal, entweder der Durchmesser oder die Stammhöhe fehlt, kurz behandelt. Auch diese Formeln können nämlich noch in einen gewissen Zusammenhang mit dem hier untersuchten Fall der Stammkubierung gesetzt werden. — Vgl. Fig. 5 und 6.

Ein Verfahren, Baumstämme zu kubieren, bei dem die Kreisfläche der Huber'schen Mittenflächenformel durch eine variable Grösse ersetzt ist, hat Putick ausgearbeitet.[2]

Wird die fragliche Variable mit b bezeichnet, so lautet die Formel Putick's

[1] Die Formel (56) ist also zugleich die Formel der diesbezüglichen Minimumgeraden $F'_{\alpha_{\beta_{mg}}}$, d. h. die gemeinsame Formel der Minimumpunkte aller derjenigen Kurven (52), die je einen gleichen α-Wert, aber verschiedene β-Werte besitzen. Diese Formel ist identisch mit den Formeln (11) und (44). (Vgl. S. 39 Fussnote.)

Für die entsprechenden Minimumkurven, welche aus den verschiedenen Minimumpunkten für je konstanten β-Wert und in bekannten Grenzen kontinuierlich variierenden α-Wert entstehen, erhält man, wie oben (S. 39 Fussnote), die Formel

$$F_{\alpha_{\beta_m}} = -\frac{1}{1+\frac{2\log\frac{d}{D}}{\log(1-\beta)}}\left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{2}{2\log\frac{d}{D}+\log(1-\beta)}}.$$

Fig. 20 veranschaulicht die hier erörterten Verhältnisse für das folgende oben besprochene Beispiel: echte Formzahlenkurve F_{α_β} für $\alpha=\frac{1}{4}$ in Verbindung mit $\beta=\frac{2}{3}$; Minimumgerade $F_{\alpha_{\beta_{mg}}}$ für $\alpha=\frac{1}{4}$; Minimumkurve $F_{\alpha_{\beta_m}}$ für $\beta=\frac{2}{3}$.

[2] Putick 1911, Ueber Stammkubierungen. Oesterr. Forst- u. Jagd-Zeit.

$$V = bH. \qquad \text{(PUTICK.)}$$

Für die Bestimmung des Wertes des Faktors b ist der Durchmesser in der Stammitte zu messen, wonach der Faktor b aus einer Tabelle zu entnehmen ist. Weil die Tabellenwerte natürlicherweise für die verschiedenen Mittendurchmesser den entsprechenden Kreisflächen gemäss ausgerechnet sind, ist das Verfahren nur eine Variante des gewöhnlichen Mittenflächenverfahrens und kann somit hier vernachlässigt werden.

Eine Formel, in welcher ferner die Stammhöhe eliminiert ist, hat z. B. FISCHER konstruiert.[1] Seine sog. »Zehnerregel» lautet

$$V = 40\,D^3. \qquad \text{(FISCHER.)}$$

Diese Formel wird aus der obenangeführten AMGWERD'schen, durch den Näherungswert 3.2 für π der umgestellten SMALIAN'schen Formel, $V = 0.4\,D^2H$ (vgl. S. 9 Fussnote) erhalten, wenn statt H der 100-fache Durchmesser eingesetzt wird. Die Regel ist also in gleicher Weise wie die Formel SMALIAN-AMGWERD's zu akkommodieren.

Für Stämme, welche der Gleichung $H = 100\,D$ nicht entsprechen, ist die Regel mit Korrektionen zu benutzen. Diese werden jedoch recht unbequem, im Vergleich nämlich z. B. zu der einfachen, der FISCHER'schen Regel zugrundeliegenden vollausgebildeten SMALIAN-AMGWERD'schen Formel selbst. — Diese Regel nebst ihren von FISCHER angeführten verschiedenartigen Varianten und Korrektionen bedarf somit hier keiner näheren Erörterung.

Eine andere Näherungsformel dagegen, die wenigstens hinsichtlich der korrektiven Behandlung in einer einigermassen vorteilhafteren Lage als die FISCHER'sche Regel sein dürfte, ist die ein halbes Hundertjahr alte bekannte DENZIN'sche Formel, die hier folgendermassen zu schreiben ist (der Durchmesser, wie überall, in Metern zu bezeichnen):[2]

$$V = 10\,D^2. \qquad \text{(DENZIN.)}$$

Diese Formel lässt sich aus jeder anderen eindurchmessrigen Kubierungsformel herleiten, wenn nur die Höhe H in passender Grösse

[1] FISCHER 1915, Zur Schätzung des Festgehalts von Bäumen und Rundhölzern. Allg. Forst- u. Jagd-Zeit.

[2] DENZIN benutzte seine Formel schon vom Jahre 1875 an, publizierte sie aber erst 1884 in F. Bl. (S. 399.) — Nach U. MÜLLER 1923, l. c. (S. 247.)

konstant gemacht wird. Z. B. in dem Fall $\alpha =$ Null muss diese Höhe H_k für den gemeinen Kegel 38.20, für das Paraboloid 25.46 und für den Zylinder 12.73 m sein. Wird ebenso in die hier oft erwähnte Smalian'sche Formel die Ersatzzahl 3.2 für π eingesetzt, so ist die erforderliche Höhe, für welche sich die fragliche Formel ergibt und für welche sie somit auch exakt ist, 25 m, — wenn nämlich die entsprechende absolute Formzahl in der Rotationskonoidvergleichung von der Grösse 0.509 ist. (Vgl. S. 9 Fussnote.) Für die auch oben angeführte Hersche'sche Formel sind die entsprechenden Zahlenwerte $H_k = 30$ m und $F_0 = 0.424$. Usw.

Um annähernd richtige Werte für verschieden lange Stämme und verschieden ausgebildete Bäume (Holzarten) zu erhalten, hat Denzin verschieden gestellte mittlere prozentische Korrektionen für die Praxis in Vorschlag gebracht, nämlich in betreff der Formelanpassung in der Brusthöhe.

Z. B. für den oben angeführten theoretischen Fall: $\alpha = 0$, $F_0 = 0.5$, $H_k = 25$ m, würde die Korrektion pro von der Grundhöhe H_k abweichenden Höhenmeter ± 4 % sein, plus, wenn die Höhe grösser, minus, wenn sie kleiner als 25 m ist. Wenn man hiernach die mit der Korrektion erweiterte Denzin'sche Formel niederschriebe, würde sie somit folgendermassen lauten:

$$V = 10\, D^2 [1 + (H - 25)\, 0.04].$$

Führt man in dieser Gleichung die Rechnungen durch, so ergibt sich daraus

$$V = 0.4\, D^2 H,$$

d. h. — die angeführte Smalian-Amgwerd'sche Kubierungsformel.

Es fragt sich somit, zu was eigentlich das Denzin'sche Annäherungskubieren nützt, wenn die notwendige Korrektion das Verfahren umständlicher macht als die Anwendung der einfacheren vollausgebildeten Kubierungsformeln.

Ohne hier das Denzin'sche Verfahren zu weiterer Anwendung speziell empfehlen zu wollen, mag aus Anlass des Gesagten ein anderes Korrektionsverfahren, das, obgleich auch nicht so sehr bequem, wenigstens die ursprünglich einfache Formel als solche beibehält, angeführt werden.

Für Körper, die kürzer als die für die Formel geltende Grundhöhe H_k für $\alpha = 0$ sind, kann die Korrektion direkt durch Aufwärtsverschiebung der Durchmesserermittlungsstelle vorgenommen werden. Es ist somit zu berechnen, wie hoch der Durch-

messer für je eine Höhe hinsichtlich der jeweiligen mittleren Körperform zu nehmen ist, d. h. die Gleichung (vgl. Formel (3) weiter oben)

$$\frac{\left(1-\frac{a}{H}\right)^{-r}}{1+r}\,\frac{\pi}{4}D^2H = 10\,D^2$$

in betreff $\frac{a}{H} = \alpha$, bzw. a zu lösen, wenn für r und danach für H bestimmte Werte gegeben sind.[1]

Um nur allgemeine mittlere Näherungswerte herzuleiten, dürfte r der Wert Eins gegeben werden können, und um die Berechnung dazu möglichst einfach zu machen, kann man wohl auch π den Näherungswert 3.2 geben. Durch weitere Lösung in betreff α bzw. a vereinfacht sich die aufgestellte Gleichung also folgendermassen:

(57) $$\alpha = 1-\frac{H}{25},$$

bzw.

(58) $$a = \left(1-\frac{H}{25}\right)H.$$

Aus Formel (57) ist leicht zu ersehen, dass für je $2\frac{1}{2}$ m Höhenverminderung (von 25 m an beginnend) die Ermittlungsstelle des Durchmessers um $\frac{1}{10}$ der Höhe aufwärts rückt. Entsprechend rückt diese Stelle im Anfang auch absolut höher, kulminiert aber in halber Höhe für den H-Wert $\frac{25}{2}$ m, um dann wieder gegen den Nullpunkt zu sinken.

Die Höhenlagen des für die DENZIN'sche Formel geltenden »Gleichgewichtsdurchmessers» sind in Fig. 21 im Verhältnis zu der variierenden Körperhöhe näher veranschaulicht.

Korrektionen für Körper, die höher als die Grundhöhe H_k sind, lassen sich ihrerseits durch entsprechende künstliche Vergrösserung des Basaldurchmessers ausführen, sind aber durch spezielle Berechnungen zu entnehmen und bezeichnen somit keine weitere Erleichterung der Korrektionsfrage. Für den wirklichen Stamm, für welchen die hier berechnete theoretische Nullhöhe im allgemeinen durch die Brusthöhe ersetzt wird, können jedoch einigermassen grössere Durchmesser durch weitere Verschiebung der Ermittlungsstelle gegen den Boden erhalten werden. —

[1] Auch Formverschiedenheiten können natürlich durch entsprechende Verschiebungen eliminiert werden.

Eine Veränderung der ursprünglichen Regel z. B. in die Form $V = 20\,D^2$ und eine neue Berechnung des α-Werts hinsichtlich des entsprechenden Ausdrucks $1-\frac{H}{50}$ würden ihrerseits den einzigen Sinn — die Einfachheit — des Denzin'schen Verfahrens zerstören. —

Es sei schliesslich noch bemerkt, dass auch die gewöhnliche Kreisflächentafel für gegebene Durchmesserwerte als Stammkubierungstafel anzuwenden ist.

Analog der Denzin'schen Formel wird die Kubierungsformel

$$V = 10\,G$$

aufgestellt und die Ermittlungsstelle des Durchmessers entsprechenderweise hiernach gesucht. Es werden die Akkommodierungsformeln für das Paraboloid genau

(59) $$\alpha = 1-\frac{H}{20},$$

bzw.

(60) $$\alpha = \left(1-\frac{H}{20}\right)H$$

erhalten. Die Grundhöhe ist jetzt also 20 m, und für je 2 m Höhenverminderung verschiebt sich die Ermittlungsstelle des Durchmessers um $\frac{1}{10}$ der Höhe aufwärts. Die absolute Höhe dieser Stelle kulminiert bei 5 m für den 10-metrigen Körper. Vgl. Fig. 21.

Das Volumen in m^3 wird somit aus der Kreisflächentafel direkt erhalten, wenn in der dem jeweiligen Durchmesser entsprechenden m^2-Zahl das Dezimalkomma einen Schritt nach rechts verschoben wird.

Wie diese zwei zuletzt angeführten Formeln in der vorgeschlagenen Anpassungsform für das benutzte Stammaterial gearbeitet haben, geht aus der Kubierungstabelle hervor.

Die Sicherheit im Einzelnen kann natürlicherweise nicht sehr gross sein, besonders wenn längere Stämme als die Grundhöhe zu kubieren sind. Demgemäss sind die längsten Stämme des Materials für die letztere der zwei Formeln verhängnisvoll gewesen; versuchsweise ist hier betreffs der Durchmesserermittlung auch nicht unter die Brusthöhe herabgegangen worden. Die Dispersionszahl ist auch besonders für die zweite Formel recht hoch. — Elastischere, zu sichreren Resultaten führende Regeln als die hier formulierten könnten für die Aufwärtsverschiebung des Durch-

messers direkt aus echtem Stammaterial hergeleitet werden. Für diesen Zweck ist jedoch das jetzt benutzte Material zu klein. An sich würde gleichwohl das Kubierungsverfahren derart verfeinert nur noch unbequemer werden.

Fasst man zum zweiten die erhaltenen Gesamtmittelwerte ins Auge, so sind die Resultate als befriedigend anzusehen. Es ist freilich ein Zufall, aber das formal beste Mittelwertergebnis der hier angestellten Vergleichskubierungen ist gerade aus der DENZIN'schen Formel in der neuen Anpassungsform entsprungen, — eine Gesamtmittelwertabweichung von dem Grundvolumen, die fast Null ist.

Kubierungstabelle

Graphische Tafeln

Volumzahlen einzelner Kiefernstämme mit Rinde.

Stammdurchmesser in 6 m Höhe vom Boden, Engl. Zoll	Waldtyp	Stammhöhe, m	Grundvolumen. Einmetersektionsweise Kubierung nach der Mittenflächenformel, m^3	Aus dem Grundvolumen berechnete prozentische Abweichungen der Volumina folgender Kubierungsformeln: Teilhöhe der Durchmesserlage								Durchmesser in						
				$\frac{1}{2}$	0.4	$\frac{1}{3}$	0.3	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	Brusthöhe	Zwanzigstelhöhe			Viertel- und Brusthöhe	wechselnder Höhenlage	
				$V = 0.8\, D^2 H$	$V = \frac{2}{3} D^2 H$	$V = 0.8\, G H$	$V = 0.6\, D^2 H$	$V = 0.7\, G H$	$V = \frac{2}{3} G H$	$V = \frac{1}{2} D^2 H$	$V = 0.6\, G H$	$V = \frac{1}{2} G H$	$V = \frac{2}{3} G h$	$V = \frac{1}{2} D^2 L$	$V = 0.6 G \left(L + \frac{a}{2}\right)$	$V = H(G_{\frac{1}{4}} - 0.2 G_{1.3})$	$V = 10\, D^2$	$V = 10\, G$
5"	CIT	11—12 1/2	0.155	—0.7	—3.6	—3.4	—5.2	—8.1	—7.6	—7.1	—7.7	—15.8	+ 4.1	+ 6.0	+ 3.1	—2.5	— 0.9	— 9.1
»	»		0.158	—4.1	—4.8	—3.0	—3.7	—4.4	—1.9	+ 2.1	+ 1.5	—11.5	+ 1.3	+ 4.6	+ 2.2	+ 2.8	+ 2.2	— 5.0
»	»		0.161	—4.8	—5.4	—2.1	—0.3	—1.4	+ 2.1	+ 4.9	+ 4.2	— 8.1	— 2.8	— 0.2	—2.1	+ 3.9	+ 0.2	— 5.5
»	»		0.162	—3.8	—5.8	+ 0.5	+ 0.9	—1.1	+ 2.3	+ 2.6	+ 2.6	— 7.7	+ 0.2	+ 2.9	+ 0.3	+ 2.2	+ 4.3	— 3.7
»	VT	14 1/2—16	0.165	+ 1.4	—3.6	—3.5	—2.4	—5.1	—1.9	—0.8	—4.5	—11.5	— 1.3	+ 0.5	—2.0	+ 0.4	— 0.5	— 6.5
»	»		0.167	+ 0.1	—4.8	—3.4	—3.7	—6.3	—4.3	—2.0	—4.0	— 6.2	+ 1.8	+ 4.3	+ 1.9	—3.5	— 1.8	— 7.7
»	»		0.168	—0.3	—3.9	—2.1	—2.4	—3.6	—2.6	—0.8	—1.6	— 3.1	+ 2.1	+ 5.5	+ 2.9	—1.2	— 5.3	— 9.4
»	»		0.172	—1.4	—2.7	—1.0	—1.2	—4.2	—3.2	—0.9	—2.8	— 0.4	+ 2.9	+ 6.0	+ 3.4	—3.2	— 1.7	— 9.2
»	OMT	18—19 1/2	0.180	+ 0.8	—0.7	+ 1.5	+ 1.6	0.0	+ 2.6	+ 5.1	+ 4.3	+ 6.8	— 2.1	+ 1.0	—1.0	—0.1	— 4.7	+ 8.8
»	»		0.182	—3.3	—4.2	+ 1.4	—0.1	—1.4	+ 1.2	+ 2.4	0.0	+ 0.4	— 2.8	— 0.3	—2.6	+ 0.8	— 5.9	+ 0.9
»	»		0.184	—3.2	—2.7	+ 1.5	+ 1.7	+ 1.9	+ 4.7	+ 5.8	+ 5.3	+ 10.4	— 2.5	+ 0.3	—1.6	+ 1.1	— 1.0	+ 16.2
»	»		0.194	—0.8	—3.7	—1.2	—1.0	—1.0	+ 3.1	+ 6.7	+ 6.6	+ 7.3	+ 0.5	+ 3.4	+ 1.0	—1.6	+ 0.9	+ 10.1

10″	CIT	15 1/2—17	0.633	+ 3.0	+ 3.2	+ 6.8	+ 6.0	+ 2.2	+ 2.6	+ 3.6	+ 0.3	— 5.1	— 6.3	— 3.6	— 5.6	+ 3.1	— 2.1	+ 2.7
»	»		0.661	— 3.7	— 0.8	+ 4.3	+ 4.2	+ 2.0	+ 4.4	+ 6.0	+ 3.8	+ 5.3	— 4.6	— 0.9	— 2.9	+ 3.7	+ 0.6	— 3.6
»	»		0.683	— 4.0	— 4.6	— 1.5	— 0.7	— 1.5	+ 2.8	+ 6.9	+ 6.0	+ 4.8	— 2.3	+ 1.4	— 0.5	— 1.3	— 7.0	— 0.6
»	»		0.699	+ 2.0	— 1.2	+ 0.9	+ 1.6	— 1.1	+ 1.4	+ 3.7	+ 1.7	— 0.4	— 3.1	0.0	— 2.6	+ 1.4	— 0.3	— 0.9
»	VT	20—21	0.735	+ 1.5	+ 1.9	+ 6.1	+ 5.4	+ 1.2	+ 1.7	+ 1.4	— 0.2	+ 4.6	— 5.1	— 2.1	— 4.5	+ .6	— 3.0	+ 4.7
»	»		0.749	+ 6.4	+ 2.4	+ 4.9	+ 3.4	— 1.5	— 1.0	— 0.5	— 2.1	+ 5.3	— 2.5	+ 0.3	— 2.1	— 1.5	— 5.5	+ 5.3
»	»		0.766	+ 4.1	— 0.5	+ 1.8	+ 1.2	— 0.7	+ 2.0	+ 3.9	+ 2.0	+ 4.3	— 3.2	— 0.5	— 2.9	0.0	— 2.7	+ 4.2
»	»		0.786	— 3.1	— 5.0	+ 0.6	+ 1.1	0.0	+ 5.0	+ 7.8	+ 7.3	+ 12.1	— 1.2	+ 1.4	— 1.0	— 2.0	+ 3.3	+ 6.8
»	OMT	24—25 1/2	0.858	+ 3.7	+ 0.6	+ 4.2	+ 2.8	+ 0.6	+ 1.2	+ 1.1	— 1.8	+ 1.6	— 5.8	— 3.6	— 6.3	+ 3.1	+ 5.6	— 17.0
»	»		0.865	+ 4.0	+ 1.9	+ 4.6	+ 5.1	+ 1.7	+ 0.9	+ 1.6	— 2.1	+ 3.5	— 6.6	— 4.4	— 6.3	+ 4.1	+ 5.5	— 17.2
»	»		0.877	+ 0.4	— 2.6	— 0.2	— 0.7	— 2.8	— 0.1	+ 1.9	+ 0.3	+ 8.7	+ 0.9	+ 3.6	+ 0.8	— 4.7	+ 15.3	— 9.4
»	»		0 899	+ 2.0	— 0.1	+ 3.5	+ 2.0	— 1.0	— 0.3	— 1.2	— 4.0	+ 5.7	— 3.3	— 0.8	— 3.1	— 0.7	+ 5.5	— 17.1
Gesamtmittelwert (m) . .				— 0.2	— 2.1	+ 0.9	+ 0.7	— 1.5	+ 0.6	+ 2.3	+ 0.6	+ 0.5	— 1.7	+ 1.0	— 1.3	+ 0.3	0.0	— 2.6
Gesamtdispersion (σ)				3.1	2.7	3.1	2.9	2.6	3.0	3.4	3.8	7.4	2.9	2.9	2.8	2.5	4.3	8.7

Die entsprechenden mittleren Fehler liegen zwischen den Zahlenwerten: $\varepsilon(m) = 0.5$ und $1.8\,^0/_0$ bzw. $\varepsilon(\sigma) = 0.4$ und $1.3\,^0/_0$

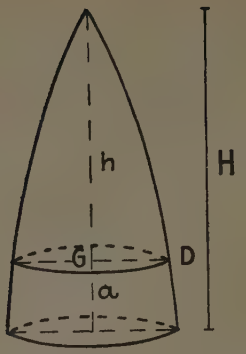


Fig. 1

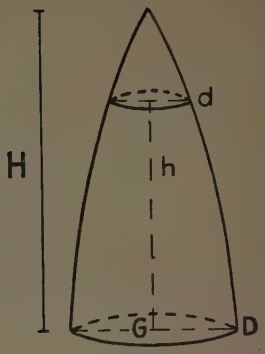


Fig. 2

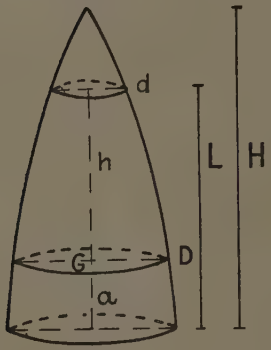


Fig. 3

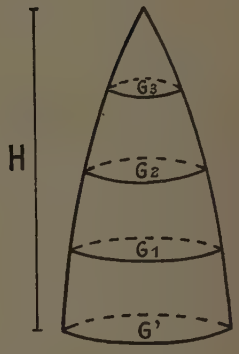


Fig. 4

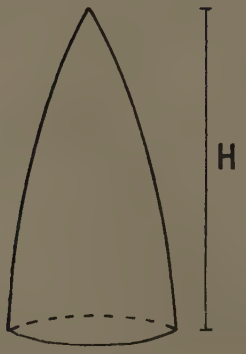


Fig. 5

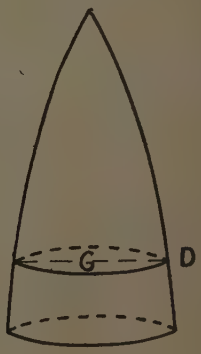


Fig. 6

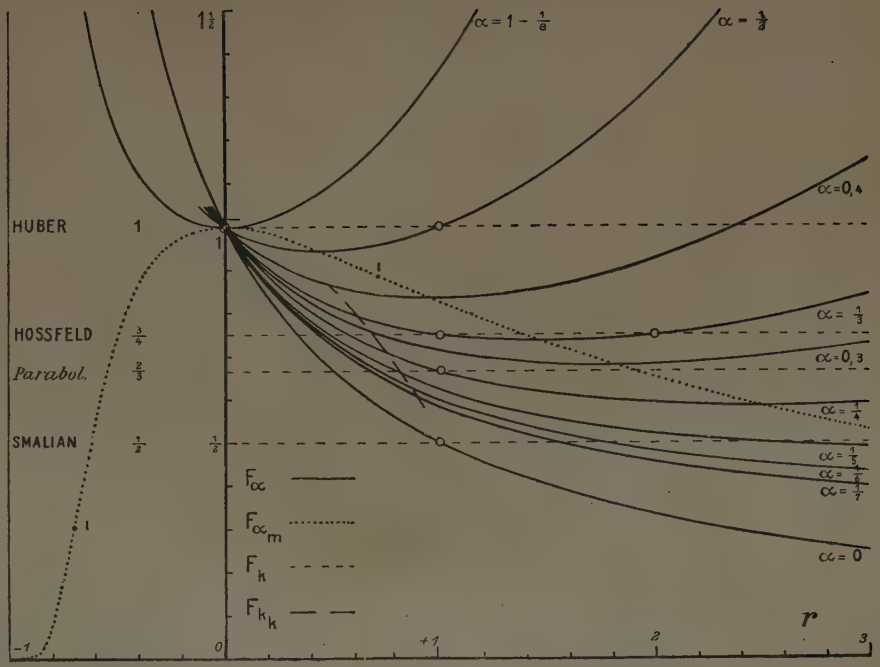

HUBER
HOSSFELD
Parabol.
SMALIAN
F_α
F_{α_m}
F_k
F_{k_k}
$\alpha = 1 - \frac{1}{e}$
$\alpha = \frac{1}{3}$
$\alpha = 0{,}4$
$\alpha = \frac{1}{3}$
$\alpha = 0{,}3$
$\alpha = \frac{1}{4}$
$\alpha = \frac{1}{5}$
$\alpha = \frac{1}{6}$
$\alpha = \frac{1}{7}$
$\alpha = 0$
r

Fig. 7

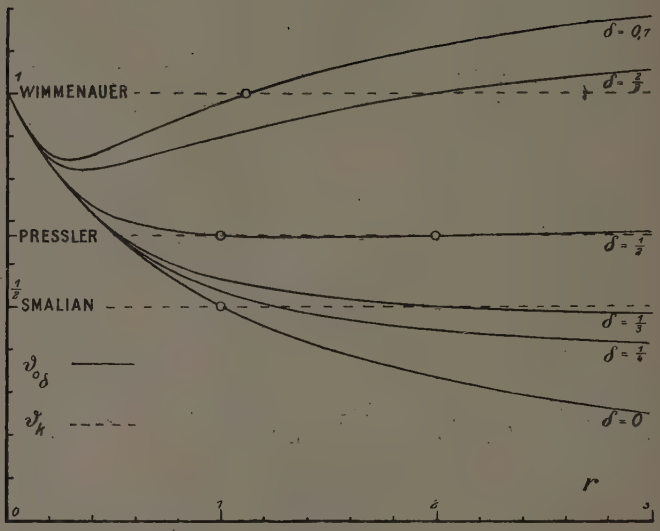

δ = 0,7
δ = 2/3
1
WIMMENAUER
PRESSLER
δ = 1/2
1/2
SMALIAN
δ = 1/3
δ = 1/4
δ = 0
ϑ0δ
ϑk
r
0
1
2
3

Fig. 8

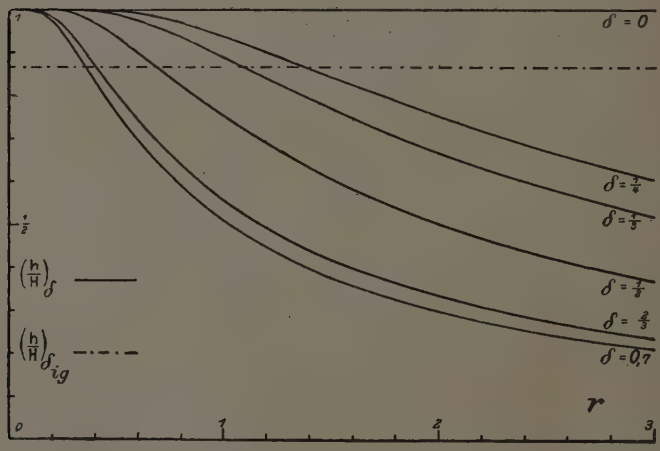

1
δ = 0
δ = 1/4
δ = 1/3
1/2
δ = 1/2
δ = 2/3
δ = 0,7
(h/H)δ
(h/H)δ,ig
r
0
1
2
3

Fig. 9

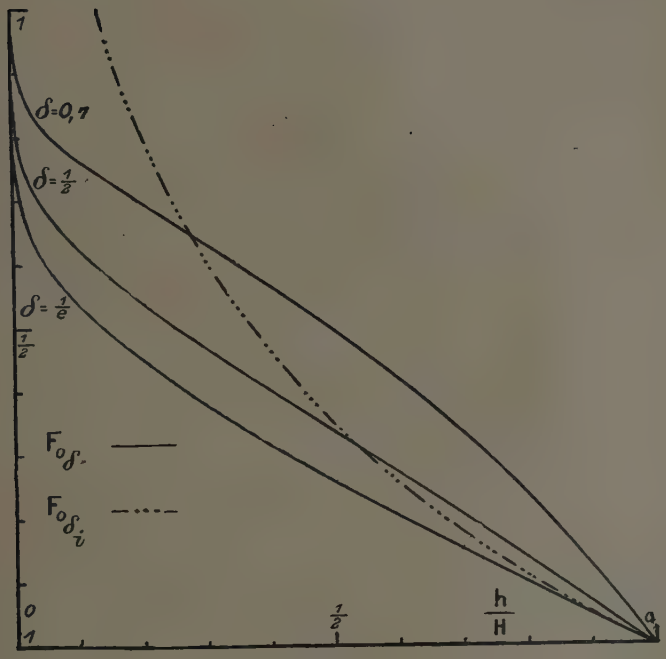


Fig. 10

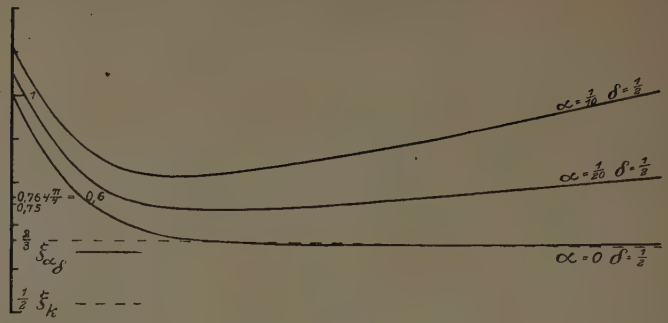


Fig. 11

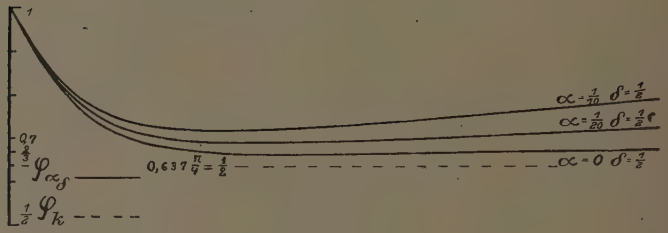


Fig. 12

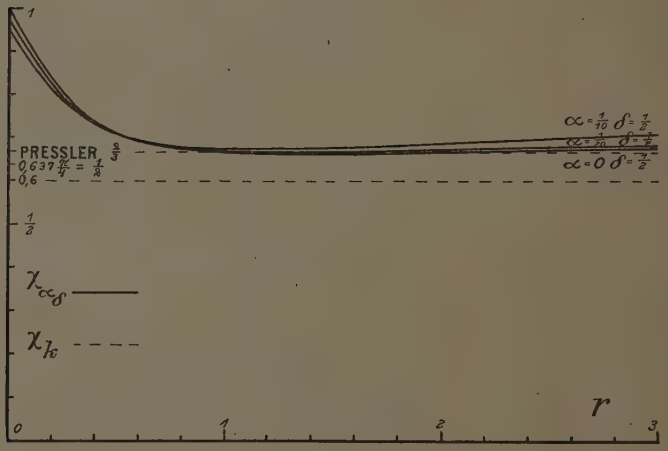


Fig. 13

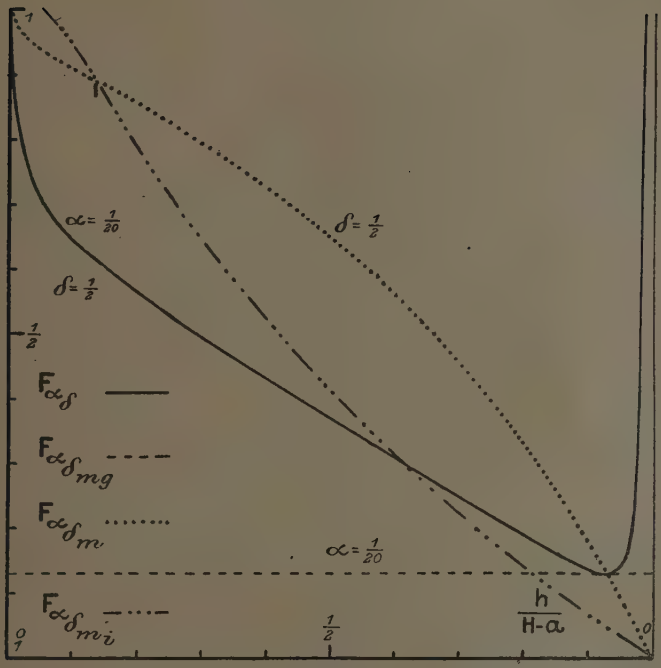


Fig. 14

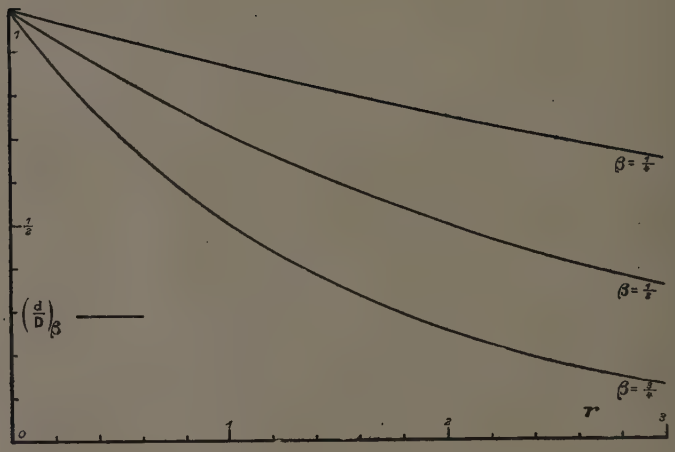

1
1/2
$\left(\frac{d}{D}\right)_\beta$
$\beta = \frac{1}{2}$
$\beta = \frac{1}{3}$
$\beta = \frac{1}{4}$
r
0
1
2
3

Fig. 15

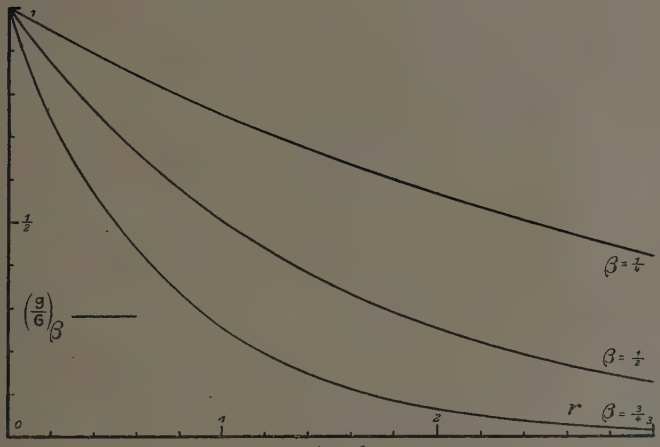

1
1/2
$\left(\frac{g}{G}\right)_\beta$
0
1
2
3
r
$\beta = \frac{1}{4}$
$\beta = \frac{1}{2}$
$\beta = \frac{3}{4}$

Fig. 16

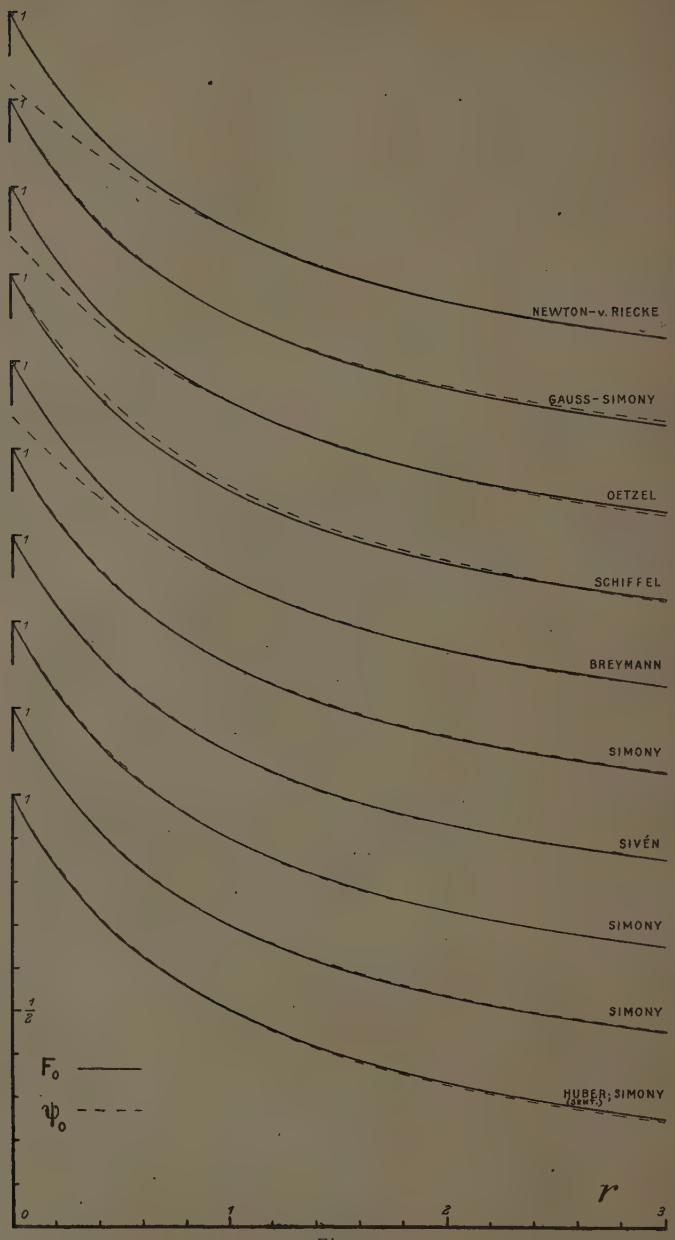

1
NEWTON–v. RIECKE
GAUSS–SIMONY
OETZEL
SCHIFFEL
BREYMANN
SIMONY
SIVÉN
SIMONY
SIMONY
HUBER; SIMONY
1/2
F0
ψ0
0
1
2
3
r

Fig. 17

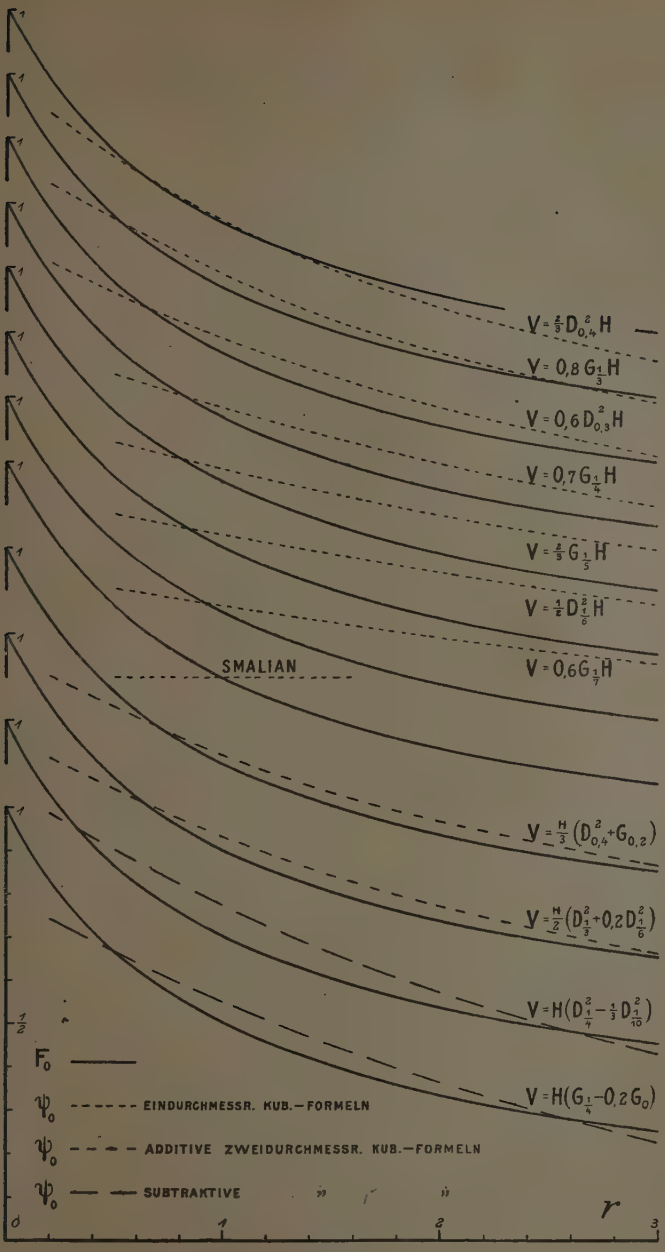

$V = \frac{2}{3} D_{0,4}^2 H$
$V = 0{,}8\, G_{\frac{1}{3}} H$
$V = 0{,}6\, D_{0,3}^2 H$
$V = 0{,}7\, G_{\frac{1}{4}} H$
$V = \frac{2}{5} G_{\frac{1}{5}} H$
$V = \frac{1}{2} D_{\frac{1}{6}}^2 H$
SMALIAN
$V = 0{,}6\, G_{\frac{1}{7}} H$
$V = \frac{H}{3}(D_{0,4}^2 + G_{0,2})$
$V = \frac{H}{2}(D_{\frac{1}{3}}^2 + 0{,}2\, D_{\frac{1}{6}}^2)$
$V = H(D_{\frac{1}{7}}^2 - \frac{1}{3} D_{\frac{1}{10}}^2)$
$V = H(G_{\frac{1}{6}} - 0{,}2\, G_0)$
$\frac{1}{2}$
F_0
ψ_0 ------ EINDURCHMESSR. KUB.—FORMELN
ψ_0 - - - - ADDITIVE ZWEIDURCHMESSR. KUB.—FORMELN
ψ_0 —— SUBTRAKTIVE " " "
0
1
2
3
r

Fig. 18

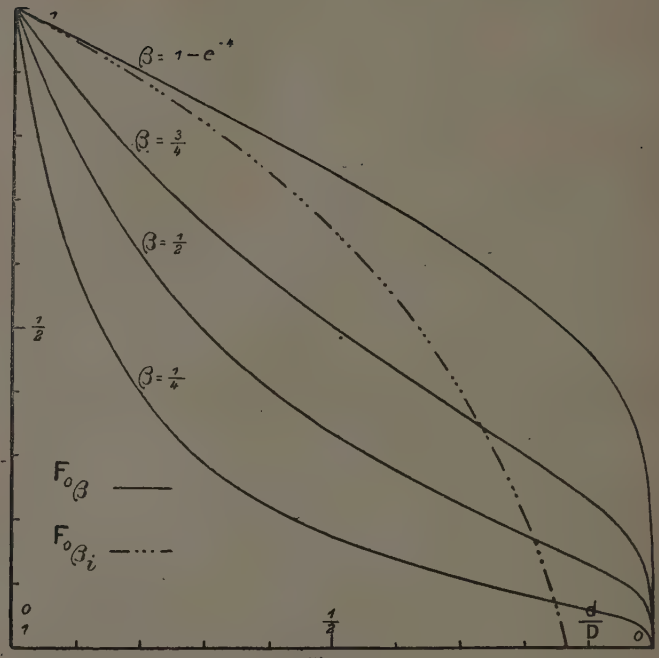


Fig. 19

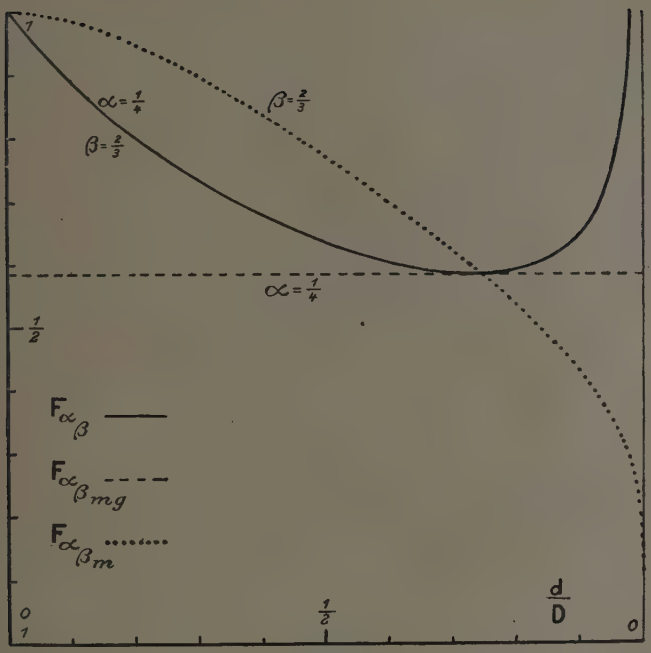


Fig. 20

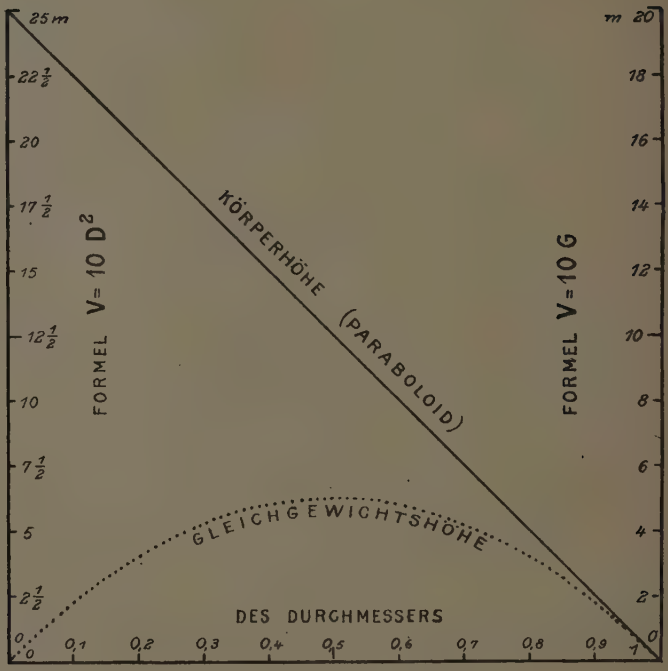

25 m
22½
20
17½
15
12½
10
7½
5
2½
0
m 20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
FORMEL V = 10 D²
KÖRPERHÖHE (PARABOLOID)
FORMEL V = 10 G
GLEICHGEWICHTSHÖHE
DES DURCHMESSERS
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1

Fig. 21

ZUR
THEORIE DER LINIENTAXIERUNG

VON
J. W. LINDEBERG

HELSINKI 1926

HELSINKI 1926,
DRUCKEREI DER FINNISCHEN LITERATURGESELLSCHAFT

Zur Theorie der Linientaxierung.

Von

J. W. Lindeberg.

1. Im Jahre 1924 habe ich in Acta forestalia fennica 25 eine Arbeit über die Berechnung des Mittelfehlers des Resultates einer Linientaxierung publiziert, worin die früher zu diesem Zwecke angewandten Methoden kritisiert werden und eine neue Formel vorgelegt wird. Im Anschluss an eine denselben Gegenstand behandelnde Arbeit des Herrn A. Langsaeter [1] will ich auf einige Punkte der Frage zurückkommen.

Ich habe u.a. dagegen Bedenken erhoben, dass bei der Berechnung des Mittelfehlers die Linien in eine so kleine Anzahl von Gruppen wie zehn zusammengefasst werden. Herr Langsaeter berührt diese Frage im Vorbeigehen, indem er an Beispielen zeigt, dass auch Mittelfehler, die aus einer sehr kleinen Anzahl von Gruppen berechnet worden sind, mit unbedeutenden Fehlern behaftet sein können. Da die Frage nach der Zuverlässigkeit solcher Mittelfehler sehr wichtig zu sein scheint, will ich etwas näher auf sie eingehen.

Es liege eine Anzahl von Beobachtungen $x_1, x_2, \ldots, x_n$ einer Grösse X vor, und es werde angenommen, dass der Mittelwert

$$M = \frac{1}{n} \sum x_p \tag{1}$$

und die Streuung

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_p - M)^2} \tag{2}$$

berechnet worden sind. Wenn angenommen werden kann, dass an den Beobachtungen keine systematischen Fehler haften, macht man sich in der Praxis eine Vorstellung von der Genauigkeit, womit M die Grösse X darstellt, indem man die Wahrscheinlichkeiten der Ungleichungen

[1] Om beregning av middelfeilen ved regelmässige linjetakseringer, Meddelelser fra det norske skogforsøksvesen, Oslo 1926.

$$|M-X|>2\frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} \quad \text{und} \quad |M-X|>3\frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

heranzieht. Falls $\sigma:\sqrt{n-1}$ der richtige Mittelfehler von M wäre, hätten diese Wahrscheinlichkeiten die Werte 0.05 und 0.003, und wenn n gross ist, geben deshalb diese Zahlen eine gute Auffassung von den in Frage stehenden Wahrscheinlichkeiten. Für kleine Werte von n liegen aber die Sachen anders. Wir stellen uns als erste Aufgabe, die präzisen Werte dieser Wahrscheinlichkeiten zu berechnen, wenn n klein ist.

2. Indem wir der Einfachheit halber X gleich Null annehmen und mit α eine positive Zahl grösser als 1 bezeichnen, fragen wir allgemein nach der Wahrscheinlichkeit $P_{n,\alpha}$, dass

$$|M|>\alpha\frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

oder also

$$M^2-\alpha^2\frac{\sigma^2}{n-1}>0.$$

Führen wir hier für M den Ausdruck (1) ein und für σ den Ausdruck, den man erhält, wenn in (2) M durch (1) ersetzt wird, und dividieren wir mit $\frac{1-\alpha^2}{n^2}$, so ergibt sich die Ungleichung

$$(3) \qquad \sum x_\mu^2-2\frac{\alpha^2+n-1}{(\alpha^2-1)(n-1)}\sum x_r x_s<0.$$

$P_{n,\alpha}$ ist also die Wahrscheinlichkeit, dass die Grössen $x_1, x_2, \ldots, x_n$ so ausfallen, dass sie der Ungleichung (3) genügen.

Indem wir annehmen, dass alle Beobachtungen demselben normalen Wahrscheinlichkeitsgesetz unterliegen, sei $ae^{-h^2x^2}$ die diesem Gesetze zugehörige Wahrscheinlichkeitsfunktion. Die Wahrscheinlichkeit, dass die n Beobachtungen zwischen die respektiven Grenzen

$$x_1 \text{ —— } x_1+dx_1,\ x_2 \text{ —— } x_2+dx_2,\ \ldots,\ x_n \text{ —— } x_n+dx_n$$

fallen, ist dann gleich

$$a^n e^{-h^2\sum x_\mu^2}dx_1dx_2\ldots dx_n,$$

und $P_{n,\alpha}$ ist also gleich dem n-fachen Integral dieses Ausdruckes, über das durch die Ungleichung (3) definierte Gebiet des n-dimensionalen $x_1, x_2, \ldots, x_n$-Raumes erstreckt. Da der Integrand nur von dem Abstand vom Nullpunkt abhängt, findet man ohne Schwierigkeit, dass der Wert

dieses Integrals gleich dem Quotienten zwischen dem Volumen des durch die Ungleichung (3) definierten Doppelsektors der n-dimensionalen Einheitskugel $\Sigma x_\mu^2 = 1$ und dem Volumen dieser Kugel selber ist. Mit Benutzung bekannter Formeln ergibt sich aus dieser Bemerkung

$$P_{n,a} = \frac{\int_0^\Theta \sin^{n-2}\varphi\, d\varphi}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{n-2}\varphi\, d\varphi},$$

wo Θ den durch die Gleichung

$$\cos\Theta = \frac{a}{\sqrt{a^2+n-1}}$$

definierten positiven spitzen Winkel bedeutet. Vermittels dieser Formeln berechnet sich für die wichtigsten Werte $P_{n,a}$ die folgende Tafel:

n	$P_{n,2}$	$P_{n,3}$
3	0.184	0.095
4	0.139	0.058
5	0.116	0.040
6	0.102	0.030
7	0.092	0.023
8	0.086	0.020
9	0.081	0.017
10	0.076	0.015

Der Wert von $P_{10,3}$ ist, wie ersichtlich, ungefähr fünfmal so gross wie der Wert von $P_{n,3}$, wenn n gross ist. Die Zahl 0.015 ist aber an sich noch klein und zeigt, dass die in meiner vorigen Arbeit ausgesprochenen Bedenken gegen die Anwendung eines auf Grund von nur zehn Beobachtungen berechneten Mittelfehlers übertrieben waren. Es scheint sogar, als ob die in den landwirtschaftlichen Untersuchungen oft auf Grund einer noch kleineren Anzahl von Beobachtungen berechneten Mittelfehler nicht ganz bedeutungslos wären.

Die Zahlen unserer Tafel setzen voraus, dass der in Frage stehende Beobachtungsfehler dem Gauss'schen Gesetze folgt. Dies kann nun immer bezweifelt werden. Eine Abweichung von diesem Gesetze kann aber bald vergrössernd, bald verkleinernd auf die fraglichen Zahlen einwirken, und da man im allgemeinen keine Basis für die Beurteilung der Art der Abweichung besitzt, scheint es nicht möglich zu sein, eine bessere Vorstellung von den gesuchten Wahrscheinlichkeiten zu erhalten als die oben gegebene.

3. Ein zweiter Punkt, worauf ich eingehen will, betrifft die von mir vorgeschlagene Formel zur Berechnung des Mittelfehlers des Taxierungsresultates. Es seien $l_1, l_2, \ldots, l_n$ die Längen der Linien und $p_1, p_2, \ldots, p_n$ die beobachteten Prozente. Ferner möge $L = \Sigma l_\mu$ gesetzt werden. Für die Berechnung des Mittelfehlers des Prozentes

$$P = \sum \frac{l_\mu}{L} p_\mu$$

habe ich die Formel

$$\varepsilon(P) = \sqrt{\frac{n}{2(n-1)} \sum \left(\frac{l_\mu + l_{\mu+1}}{2L}\right)^2 \left(p_\mu - p_{\mu+1}\right)^2} \tag{4}$$

vorgeschlagen. Herr Langsaeter hat nun in einer Reihe von zehnprozentigen Waldbodentaxierungen die durch diese Formel geleisteten Mittelfehler mit den wirklichen Fehlern verglichen und dabei gefunden, dass die vermittels der Formel erhaltenen Werte zu gross sind. Er stellt deshalb eine neue Formel auf, die statt der ersten Differenzen der Zahlen p_μ die zweiten Differenzen benutzt. Seine Formel lautet mit meinen Bezeichnungen

$$\varepsilon(P) = \sqrt{\frac{n}{1{,}5 \cdot (n-2)} \sum_{2}^{n-1} \frac{(l_{\mu-1} + l_{\mu+1}) l_\mu}{2L^2} \left(\frac{p_{\mu-1} + p_{\mu+1}}{2} - p_\mu\right)^2} \tag{5}$$

Bei der Prüfung dieser Formel an demselben Material, das bei der Prüfung der Formel (4) zur Anwendung kam, hat sich aber gezeigt, dass die neue Formel zwar bessere Werte als (4), aber noch keine befriedigenden Werte gibt. Herr Langsaeter gibt deshalb noch ein Verfahren an, die vermittels (5) erhaltenen Werte noch weiter zu korrigieren.

Ich möchte hierzu folgendes bemerken. Die Formel (4) ist eine Majorantenformel, die eher zu grosse als zu kleine Werte gibt, und da sich herausgestellt hat, dass sie bei hochprozentigen Taxierungen des Waldbodens kleiner Gebiete nicht akzeptable Mittelfehler leistet, müssen

natürlich in solchen Fällen andere Methoden angewandt werden. Im allgemeinen dürfte aber der in (4) enthaltene Sicherheitszuschlag sehr wohl vernachlässigt werden können.

Der Gedanke, dass bei Benutzung der zweiten Differenzen der berechnete Mittelfehler herabgedrückt werden könne, ist ohne Zweifel richtig. Es ist mir aber nicht verständlich, warum Herr Langsaeter in (5) als Koeffizient den Ausdruck $\frac{(l_{\mu-1}+l_{\mu+1})l_\mu}{2L^2}$ anstatt $\frac{l_\mu^2}{L^2}$ benutzt. Wenn er in (4) $\left(\frac{l_\mu+l_{\mu+1}}{2L}\right)^2$ durch $\frac{l_\mu l_{\mu+1}}{L^2}$ ersetzt, kommt doch eine kleine formale Vereinfachung zustande, und die Rechnung mit der so erhaltenen Formel kann sich bei gewisser Rechnungsweise etwas einfacher gestalten als bei Benutzung der richtigen Koeffizienten. Diese Gesichtspunkte können aber nicht zu Gunsten der Formel (5) herangezogen werden. Irgendein Missverständnis muss vorliegen, und ich mache deshalb darauf aufmerksam, dass, falls z.B. alle zweiten Linien sehr kurz sind, die Formel (5) einen entsprechend sehr kleinen Mittelfehler leistet, was nicht richtig sein kann.

Dem Umstand, dass noch (5) in gewissen Fällen zu grosse Mittelfehler leistet, wird nicht damit abgeholfen, dass $\frac{l_\mu^3}{L^2}$ als Gewichtskoeffizient eingeführt wird. Mir scheint aber, dass man, bevor zu anderen Massnahmen geschritten wird, den schon mit der Aufstellung der Formel (5) eingeschlagenen Weg noch weiter zu verfolgen hat.

Indem wir die Bezeichnungen

$$d^{(1)}_{\mu,\,\mu+1} = p_{\mu+1} - p_\mu$$
$$d^{(2)}_{\mu,\,\mu+2} = d^{(1)}_{\mu+1,\,\mu+2} - d^{(1)}_{\mu,\,\mu+1}$$
$$d^{(3)}_{\mu,\,\mu+3} = d^{(2)}_{\mu+1,\,\mu+3} - d^{(2)}_{\mu,\,\mu+2}$$
$$d^{(4)}_{\mu,\,\mu+4} = d^{(3)}_{\mu+1,\,\mu+4} - d^{(3)}_{\mu,\,\mu+3}$$

einführen, denken wir uns die folgende Differenzentafel aufgestellt:

$$
\begin{array}{lllll}
p_1 & & & & \\
 & d^{(1)}_{1,2} & & & \\
p_2 & & d^{(2)}_{1,3} & & \\
 & d^{(1)}_{2,3} & & d^{(3)}_{1,4} & \\
p_3 & & d^{(2)}_{2,4} & & d^{(4)}_{1,5} \\
 & d^{(1)}_{3,4} & & d^{(3)}_{2,5} & \\
p_4 & & d^{(2)}_{3,5} & & \\
 & d^{(1)}_{4,5} & & & \\
p_5 & & & & \\
\cdot & \cdot & & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot & \cdot & d^{(4)}_{n-4,n} \\
\cdot & \cdot & & d^{(3)}_{n-3,n} & \\
 & & d^{(2)}_{n-2,n} & & \\
 & d^{(1)}_{n-1,n} & & & \\
p_n & & & &
\end{array}
$$

Wenn man die Berechnung des Mittelfehlers auf die zweiten Differenzen basieren will, so geschieht dies am besten durch die Formel

$$\varepsilon(P) = \sqrt{\frac{n}{6(n-2)} \sum_{\mu=2}^{n-1} \left(\frac{l_\mu d^{(2)}_{\mu-1,\mu+1}}{L} \right)^2} \cdot \tag{6}$$

Daneben möchte ich als praktisch brauchbare Formeln, von welchen erwartet werden darf, dass sie den Wert des Mittelfehlers noch weiter herabdrücken, die Formeln

$$\varepsilon(P) = \sqrt{\frac{n}{20(n-3)} \sum_{\mu=2}^{n-2} \left(\frac{l_\mu + l_{\mu+1}}{2L} \cdot d^{(3)}_{\mu-1,\mu+2} \right)^2} \tag{7}$$

und

$$\varepsilon(P) = \sqrt{\frac{n}{70(n-4)} \sum_{\mu=3}^{n-2} \left(\frac{l_\mu d^{(4)}_{\mu-2,\mu+2}}{L} \right)^2} \tag{8}$$

in Vorschlag bringen.

Um z.B. die Formel (8) herzuleiten, hat man folgendes zu beachten. Es ist erstens

$$d^{(4)}_{\mu-2,\mu+2} = p_{\mu-2} - 4p_{\mu-1} + 6p_\mu - 4p_{\mu+1} + p_{\mu+2}.$$

Wenn p'_μ den wahrscheinlichen Wert und σ_μ den Mittelfehler von p_μ bezeichnet, und die Grössen p_μ voneinander unabhängig vorausgesetzt werden, findet man weiter, dass der wahrscheinliche Wert der Grösse $(d^{(4)}_{\mu-2,\mu+2})^2$ gleich

$$(\sigma^2_{\mu-2} + 16\,\sigma^2_{\mu-1} + 36\,\sigma^2_{\mu} + 16\,\sigma^2_{\mu+1} + \sigma^2_{\mu+2}) +$$
$$+ (p'_{\mu-2} - 4\,p'_{\mu-1} + 6\,p'_{\mu} - 4\,p'_{\mu+1} + p'_{\mu+2})^2$$

ist. Ist das zweite Glied hier für jedes μ klein, so wird also der wahrscheinliche Wert des Ausdruckes unter der Quadratwurzel in (8) annäherungsweise gleich $\sum\left(\frac{l_\mu}{L}\right)^2 \sigma^2_\mu$. Zwar ist hierbei zu bemerken, dass, auch wenn das genannte Glied immer genau gleich Null wäre, die Gleichheit nicht exakt bestände. Wie die Linienlängen auch variieren, ist aber kein Grund vorhanden, eine positive Abweichung eher als eine negative, oder umgekehrt, a priori zu erwarten, und ich nenne deshalb die Formel (8) theoretisch richtig. Unsere oben betreffs der Formel (5) gemachte Bemerkung besagt, dass diese Formel nicht theoretisch richtig ist.

4. Bei der Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf praktische Fragen ist es meistens eine sehr schwierige Sache, die Berechtigung der Anwendung darzulegen, und dies scheint leider davon herzurühren, dass es überhaupt keinen unanfechtbaren Grund für solche Anwendungen gibt. Jedes praktische Resultat hat deshalb in gewissem Grade den Charakter einer subjektiven Schätzung. Die Formeln (4) (6), (7) und (8) sind nun in der Hinsicht ziemlich befriedigend, weil sie keine Voraussetzungen spezieller Art brauchen. Wenn Herr Langsaeter auf Seite 33 seiner Arbeit sagt, dass ich in meiner Ableitung der Formel (4) stillschweigend eine von ihm näher angegebene spezielle Voraussetzung mache, muss dies auf einem Missverständnis beruhen.